

OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE LA CÁSCARA DEL MARACUYÁ (*Passiflora edulis*) Y LA EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

MARTHA PATRICIA APARICIO

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN DE PROCESOS DE ALIMENTOS Y
BIOMATERIALES**

2019

OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE LA CÁSCARA DEL MARACUYÁ (*Passiflora edulis*) Y LA EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

MARTHA PATRICIA APARICIO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de especialista en
procesos de alimentos y biomateriales**

Directora

July Constanza Perdomo Cerquera

Ing. Agroindustrial e Ing. de alimentos

MSc en gerencia de programas sanitarios e inocuidad de alimentos

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN DE PROCESOS DE ALIMENTOS Y
BIOMATERIALES**

2019

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Barrancabermeja, marzo de 2019.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El autor de la presente propuesta manifiesta que conoce el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la sesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Asimismo, conocemos el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

Martha Patricia Aparicio

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar una etapa más.

A mi abuela por demostrarme ser una guerrera de la vida.

A mi familia por su apoyo y amor incondicional.

Martha Patricia Aparicio

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a Dios y la Virgen de Morca por ser mis guías.

A mi papito, por su apoyo y amor incondicional.

A la directora de proyecto July Constanza Perdomo Cerquera por su apoyo y conocimientos brindados para poder desarrollar de una manera eficaz este proyecto.

Martha Patricia Aparicio

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
CAPITULO I	20
4. MARCO REFERENCIAL.....	20
4.1 MARCO HISTORICO	21
4.2 MARCO TEORICO.....	22
4.2.1 Papel.....	22
4.2.1.1 Papel reciclado	22
4.2.1.2 Proceso industrial del papel.....	23
4.2.1.3 Propiedades físicas y químicas del papel.....	24
4.2.1.4 Modelo de diseño de experimento.....	25
4.2.1.5 Serie ortogonal diseño experimental.....	26
4.2.1.6 Índice de la calidad de pulpa para papel	26
4.2.1.7 Proceso de Secado	26
4.2.1.8 Secado por convección	27
4.2.1.8 Descripción partes de control horno convectivo	29
4.2.2 Fibras vegetales	30

4.2.2.1	Uso de fibras vegetales no maderables en el papel.....	30
4.2.2.2	Composición química de vegetales no maderables.....	30
4.2.2.3	Métodos de laboratorio para fibra vegetal	32
4.2.3	Maracuyá.....	33
4.2.3.1	Propiedades y usos del maracuyá.....	33
4.2.3.2	Caracterización de la cáscara del maracuyá como materia prima.....	34
4.2.3.3	Producción de las cáscaras del maracuyá y usos	35
4.2.4	Residuos orgánicos	35
4.2.4.1	Clasificación de los residuos	35
4.2.4.2	Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos	36
4.2.5	Costos de producción.....	36
4.2.5.1	Flujo de caja y costos de producción.....	36
4.2.5.2	Clasificación de costos de producción	37
4.2.6	Fábricas de papel en Colombia.....	37
4.2.6.1	Competitividad y producción de la fabricación de papel en Colombia	38
4.2.6.2	Características del mercado nacional	38
4.2.6.3	Análisis de costos de producción de papel en Colombia	39
CAPITULO II		41
5	DISEÑO METODOLOGICO	41
5.1	Ubicación	41
5.2	Materiales.....	41
5.2.1	Materia prima.....	41
5.2.2	Equipos de laboratorio	41
5.3	Determinación de celulosa, hemicelulosa y lignina en muestra vegetal.	42

5.4	Proceso de elaboración y obtención de papel.....	43
5.4.1	Descripción de proceso de elaboración.....	43
5.4.1.1	Recolección y limpieza	43
5.4.1.2	Picado.....	44
5.4.1.3	Remojo	45
5.4.1.4	Cocción	46
5.4.1.5	Molienda.....	47
5.4.1.6	Escurrido y lavado	48
5.4.1.7	Obtención de fibra.....	48
5.4.1.8	Formación y secado de la hoja	49
5.5	Diseño experimental	51
5.5.1	Principales factores a controlar.....	52
5.5.1.1	Determinación de la calidad en la hoja.....	53
5.5.1.2	Descripción del diseño experimental	53
5.5.2	Determinación de %Humedad en el proceso de secado del material.....	54
5.5.2.1	Calculo de magnitudes en el proceso de secado.....	54
5.5.2.2	Cifras características en el proceso del secado.....	56
5.5.3	Determinación del gramaje de la hoja	56
5.5.4	Prueba de absorción del material	57
5.5.5	Coeficiente de rigidez	57
5.5.6	Costos de operación para obtener papel.....	58
CAPITULO III		59
6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
6.1	SECCIÓN 1	59

6.6.1	Análisis de resultado muestra vegetal	60
6.1.2	Formulación y condiciones de proceso de la elaboración de papel a partir de las cáscaras del maracuyá	60
6.1.2.1	Descripción del resultado muestras experimentales	61
6.1.2.2	Descripción de los resultados parámetros de calidad en muestras experimentales	62
6.1.2.3	Matriz ortogonal □□□experimental.	62
6.1.2.4	Análisis de resultado diseño experimental	64
6.1.2.5	Caracterización de materia prima	65
6.1.2.6	Análisis de resultado de la caracterización	66
6.2	SECCIÓN 2	67
6.2.1	Proceso de secado (Humedad)	67
6.2.2.1	Determinación de la disminución del peso y de la velocidad de secado por el tiempo.....	69
6.2.2.2	Análisis de resultado del comportamiento del peso del material con el tiempo de secado	70
6.2.2.3	Análisis del resultado del comportamiento de humedad del material con el tiempo de secado	71
6.2.2.4	Análisis de resultado del comportamiento de la velocidad de secado interno del material y variación de masa por hora	72
6.2.2.5	Análisis de resultado proceso de secado para obtención de la hoja	75
6.2.3	Determinación del gramaje en el material obtenido	75
6.2.3.1	Análisis de resultado del gramaje.....	76
6.2.4	Resistencia de la hoja	77
6.2.4.1	Análisis de resultado resistencia de la hoja	78
6.2.5	Prueba de absorción de la hoja.....	78
6.2.5.1	Análisis de Resultado prueba de absorción en la hoja.....	79

6.2.6	Determinación de color.....	80
6.2.6.1	Análisis de Resultado determinación de color de la hoja.....	80
6.2.7	Textura y apariencia.....	80
6.3	SECCIÓN 3	80
6.3.1	Costos de los equipos requeridos para el proceso de elaboración de papel	81
6.3.2	Costos de producción a partir de residuo	83
6.3.2.1	Análisis de resultado de costos de producción para obtener papel a partir de las cáscaras del maracuyá	84
CAPITULO IV.....		85
CONCLUSIONES		85
RECOMENDACIONES		87
BIBLIOGRAFIA		88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Historia del papel y su fabricación	21
Figura 2. Proceso de elaboración del papel industrialmente	23
Figura 3. Fases de secado por convección	28
Figura 4. Diseño horno convectivo	29
Figura 5. Polisacáridos estructurales.....	31
Figura 6. Estructura química de la lignina.....	31
Figura 7. Hemicelulosa	32
Figura 8. Partes del fruto del maracuyá.....	34
Figura 9. Modelo de flujo de caja para una planta/línea/procesamiento	37
Figura 10. Etapas de elaboración del papel.	43
Figura 11. Recolección de materia prima	44
Figura 12. Limpieza de materia prima	44
Figura 13. Picado de materia prima.....	45
Figura 14. Remojo de materia prima	45
Figura 15. Remojo de materia prima después de 12 horas.	46
Figura 16. Cocción de materia prima.....	46
Figura 17. Operación manual del molino	47
Figura 18. Molienda de materia prima	47
Figura 19. Obtención de la fibra	48
Figura 20. Obtención de fibra fina	49
Figura 21. Bastidor adecuado para la formación y secado de la hoja.....	50

Figura 22. Formación de la hoja.....	50
Figura 23. Obtención de la hoja.....	51
Figura 24. Secado de la hoja en horno convectivo	51
Figura 25. Diagrama de Moiller h-x aire humedo.....	55
Figura 26. Muestra concentración 400g	64
Figura 27. Muestra concentración 500g	64
Figura 28. Muestra concentración 600g	64
Figura 29. Hoja obtenida concentración 400g	64
Figura 30. Hoja obtenida concentración 500g	64
Figura 31. Hoja obtenida concentración 600g	64
Figura 32. Caracterización pH.....	66
Figura 33. Diagrama de Mollier h-x (aire húmedo).	68
Figura 34. Termoanemómetro digital con termómetro de marca CEM referencia DT-8894	74
Figura 35. Determinación del gramaje de la hoja	76
Figura 36. Determinación color de la hoja	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la cáscara del maracuyá	34
Tabla 2. Clasificación costos de producción	37
Tabla 3. Composición de los costos para obtención de papel industrial (mecánico).	39
Tabla 4. Composición de los costos para obtención de papel industrial (Kraft)	39
Tabla 5. Equipos de laboratorio requeridos.	41
Tabla 6. Resultados de laboratorio muestra vegetal	59
Tabla 7. Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en residuos vegetales.	59
Tabla 8. Muestras experimentales formulación base.	60
Tabla 9. Resultados obtenidos muestras experimentales	61
Tabla 10. Resultados obtenidos parámetros de calidad.....	62
Tabla 11. Resultados de matriz ortogonal $\square 27$	63
Tabla 12. Materia prima utilizada en el proceso de obtención de las hojas.....	65
Tabla 13. Caracterización del pH de las cáscaras del maracuyá, y en pulpa-tanque.....	65
Tabla 14. Descripción del peso en el proceso de secado	67
Tabla 15. Peso total de muestras en la balanza para el proceso de secado	67
Tabla 16. Datos arrojados del secador (inicio).	68
Tabla 17. Datos obtenidos del peso del producto en tiempo (h)	69
Tabla 18. Contenido de humedad del material	70
Tabla 19. Velocidades de secado interno del material y variación de masa por hora	72
Tabla 20. Velocidad del flujo del aire caliente.	73
Tabla 21. Resultado del gramaje en la hoja.....	75
Tabla 22. Clasificación para el coeficiente de rigidez.....	77
Tabla 23. Resultado prueba de absorción de la hoja.	78

Tabla 24. Costos de los equipos requeridos para el proceso de obtención de papel81

Tabla 25. Costos de producción a partir de residuo (cáscaras del maracuyá).83

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. pH - Cáscara en función de la concentración	65
Grafica 2. pH – pulpa en el tanque en función de la concentración	66
Grafica 3. Comportamiento del peso del material Vs tiempo de secado	70
Grafica 4. Comportamiento de la humedad dentro del material Vs tiempo de secado	71
Grafica 5. Variación de masa del material en el proceso de secado $\frac{kg}{h}$	72
Grafica 6. Comportamiento de la Velocidad del aire del canal en el proceso de secado	73
Grafica 7. Prueba de absorción de agua en la hoja.....	79
Grafica 8. Diferencias sobre costos de producción para obtención de papel	84

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Diseño experimental arreglo ortogonal, aplicación de Taguchi por medio software Minitab. 15	94
Anexo B. Diseño experimental aplicación de Taguchi por medio software Minitab. 15.	94
Anexo C. Superficie de respuesta muestras Vs concentracion, temperatura y tiempo Taguchi - software Minitab. 15.....	95
Anexo D. Análisis de varianza de muestras, Taguchi - software Minitab. 15.....	95
Anexo E. Resultado de laboratorio determinación de contenido de Lignina, celulosa y hemicelulosa en las cáscaras de maracuyá	96

GLOSARIO

ADSORCIÓN: Penetración superficial de un líquido en un sólido.

APROVECHAMIENTO: Es el proceso mediante el cual a través de un manejo integral de los residuos, materiales recuperados se incorporan temporalmente al ciclo económico y productivo por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración , el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos.

CELULOSA: Es el polisacárido más abundante en la naturaleza y probablemente uno de los más estudiados de la pared celular.

CÁSCARA: Es la capa protectora de una fruta o vegetal, del cual puede desprenderse es el endocarpio. Se le suele llamar también corteza.

COSTO-BENFICIO: análisis costo-beneficio es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto con el fin de evaluar su rentabilidad,

FIBRAS VEGETALES: Las fibras vegetales son estructuras celulares conformadas por diferentes polímeros de celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina, importantes a nivel mundial.

HEMICELULOSAS: Forman parte de la pared celular, por lo que se define como un polisacárido insoluble en agua.

LIGNINA: Es una macromolécula amorfa que se deposita cuando la pared primaria ha detenido su engrosamiento, ésta es el segundo compuesto orgánico más abundante sobre la tierra

PAPEL: Papel es un material formado por fibras de celulosa vegetal. Se elabora en forma de hojas muy delgadas.

PAPEL VEGETAL: Papel elaborado con pulpa de fibras vegetales como la palmera, el bambú, el maíz, cáscaras de vegetales, etc.

RESIDUOS ORGANICO: Todo material vegetal, como tallos, hojas, flores, raíces, cascarras o semillas de frutos, que son desechados.

RESUMEN

La producción de papel está soportada principalmente en la madera debido a su alto contenido de celulosa. Sin embargo, actualmente se buscan fuentes alternativas que desestimen el uso de este recurso favoreciendo la protección de los recursos. El papel consiste en un gel de fibra - aire, obtenido a partir de materias primas vegetales que presentan una cantidad considerable de celulosa (más del 40% en peso en base seca). El principal constituyente sólido del papel es la celulosa, cuyas fibras se unen entre sí por medio de puentes de hidrógeno; estas fibras están presentes en las especies vegetales que hacen parte de los residuos orgánicos. En Colombia más del 63% de los residuos que se generan son de carácter orgánico y muy pocos se están aprovechando debido a la falta de conocimiento y prácticas de aprovechamiento. Esta investigación se centró en determinar a través de pruebas de laboratorio la caracterización fisicoquímica en la muestra vegetal (contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina), así mismo se adecuó condiciones del proceso para la elaboración de papel a partir de las cáscaras del maracuyá, se aplicó el método estadístico Genechi Taguchi y con base a los resultados se seleccionó mejor formulación, se determinó las propiedades fisicoquímicas del papel obtenido (humedad, resistencia, absorción, color, textura y apariencia) se realizó un análisis para concluir que este tipo de residuo tiene alto potencial para ser usado como una alternativa viable en la producción de papel.

Capítulo I: Por medio de antecedentes se evaluó el problema, buscando sus causas, efectos y posibles soluciones, los objetivos que persigue, delimitándolo y explicando la situación y ubicación del mismo. Se detalló un marco teórico, mediante las fundamentaciones bibliográficas que permitirá al lector entender el proceso de la investigación y la propuesta desarrollada.

Capítulo II: La metodología de la investigación, se determinó la modalidad, el tipo y las herramientas de investigación que ayudaron a descubrir la población y su muestra.

Capítulo III: Se detallaron todos los resultados interpretando mediante los datos obtenidos.

Capítulo IV: Se detallaron las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Palabras claves: celulosa, fibra, residuo orgánico, aprovechamiento.

SUMMARY

Paper production is mainly supported by wood due to its high cellulose content. However, alternative sources are currently being sought that discourage the use of this resource, favoring the protection of resources. The paper consists of a fiber-air gel, obtained from vegetable raw materials that have a considerable amount of cellulose (more than 40% by weight on a dry basis). The main solid constituent of paper is cellulose, the fibers of which are linked together by hydrogen bonds; These fibers are present in plant species that are part of organic waste. In Colombia, more than 63% of the waste generated is organic and very few are being used due to the lack of knowledge and use practices. This research focused on determining through laboratory tests the physicochemical characterization in the plant sample (content of cellulose, hemicellulose and lignin), as well as the process conditions for the preparation of paper from the passion fruit peels, it was adapted The statistical method Genechi Taguchi was applied and based on the results, a better formulation was selected, the physicochemical properties of the obtained paper were determined (humidity, resistance, absorption, color, texture and appearance). An analysis was carried out to conclude that this type of residue has high potential to be used as a viable alternative in paper production.

Chapter I: by means of antecedents the problem was evaluated, looking for its causes, effects and possible solutions, the objectives that it pursues, delimiting it and explaining the situation and location of it. A theoretical framework was detailed, through the bibliographical foundations that will allow the reader to understand the research process and the proposal developed.

Chapter II: The methodology of the investigation, the modality, the type and the research tools that helped to discover the population and its sample were determined.

Chapter III: All the results were detailed interpreting through the obtained data.

Chapter IV: The conclusions and recommendations of the project were detailed.

Keywords: cellulose, fiber, organic waste, use.

INTRODUCCIÓN

El papel es un producto que se ha convertido con el tiempo en una de las bases y principales necesidades del hombre, por lo que posee gran demanda en el mercado, llegando a formar parte del desarrollo de la vida diaria del ser humano. Para la producción de papel la industria requiere de grandes cantidades de agua y recursos forestales principalmente de la madera debido a su alto contenido de celulosa que contiene. Actualmente la industria papelera está en busca de fuentes alternativas a la madera principalmente el constituyente sólido del papel que es la celulosa, cuyas fibras están presentes en las especies vegetales que son estructuras celulares conformadas por diferentes polímeros de celulosa, hemicelulosa y lignina componentes que hacen parte de los residuos orgánicos¹.

La mayoría de los residuos han sido caracterizados por sus altos niveles de celulosa y tienen potencial para ser empleados como sustitutos de la fibra virgen de la madera, siendo la principal fuente de materia prima de la industria del papel. Actualmente sólo un 9% de los materiales utilizados para la fabricación de papel a nivel mundial procede de fuentes no madereras como paja de arroz, trigo, bagazo de caña de azúcar, cáñamo, algodón, etc.². Enormes volúmenes de residuos orgánicos se producen a diario se degradan fácilmente, y son utilizados como fuentes de energía para alimentación animal, debido a que poseen interesantes características nutricionales que son aprovechables, también utilizadas para compost y gran parte se destina directamente a la basura³.

Una de las fuentes donde se generan cantidades de residuos es en la transformación en los procesos frutícola, el maracuyá es un fruto donde se extrae en su mayoría la pulpa principalmente hacia la producción de jugo natural o concentrado, separando las semillas y la cáscara, se estima que los desechos que se generan está alrededor de 63%, donde el 13% son semillas y 50% cáscaras⁴.

Es por ello que el desarrollo del siguiente trabajo se fundamenta en obtener papel a partir del aprovechamiento de las cáscaras del maracuyá como fuente de fibra para la elaboración y obtención de papel, e implementación de un proceso diferente aprovechable y eficiente de un nuevo producto que se emplee como alternativa viable y lo convierta en un aporte al recurso económico.

¹ ACEVEDO BERGER, Vanesa y RAMIREZ DIAZ, Diana Marcela. Análisis técnico y económico de la pectina, a partir de la cáscara de la naranja (*citrus sinensis*). Cali, 2011, 77p.

² CANCHE ESCAMILLA, *et al.* Obtención de celulosa a partir de los desechos agrícolas del banano. Información tecnológica. [Online]. 2005, vol.16, n.1 [citado 2020-04-22], p84. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000100012

³GRANDE TOVAR, Carlos David. Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales. Universidad de San Buenaventura Cali. 2016.

⁴BELTRAN CRUZ, Richard Esteban y PIEDRA CASTAÑEDA, Johan Sebastián. Obtención de un colorante de maracuyá a partir de su corteza. Bogotá D.C, 2017, 33p.

1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

La producción de papel está soportada principalmente en la madera debido a su alto contenido de celulosa. Sin embargo, actualmente están en busca de fuentes alternativas que desestimulen el uso de este recurso favoreciendo la protección de los bosques. La producción mundial de pulpa para papel realiza investigaciones a partir de fibras no maderables, según la Norma Técnica Colombiana (NTC 6019) se demuestra en algunos estudios se pueden utilizar residuos agroindustriales como alternativas de fuentes de fibra⁵

En Colombia más del 60% de los residuos que se generan son de carácter orgánico y muy pocos se están aprovechando algunos son utilizados como fuentes de energía para alimentación animal, compost y otra parte de esa cantidad se destina directo a la basura. Se estima que en la industria de cítricos mundial, se producen más de 120 millones ton, las cuales el 40% es utilizado para la extracción de menos de la mitad del peso del fruto como zumo, quedando como residuos la piel o cáscaras, las semillas y la pulpa. La producción de estos residuos mundialmente se aproxima a los 20 millones de toneladas⁶.

El Maracuyá es un fruto cítrico que es consumido y producido en forma natural, el incremento notable de consumo deja en su mayoría un gran volumen de material de desecho y en consecuencia la pérdida de material vegetal que puede ser fuente de obtención de componentes importantes. Durante el manejo de post-cosecha posterior a la transformación del maracuyá en productos alimenticios se extrae únicamente la pulpa del fruto, separando las semillas y las cáscaras como residuos, se estima que los residuos están alrededor de 63% la cual el 13% son semillas y 50% cáscaras. Estos desechos generan problemas ambientales, económicos y de gestión, sin embargo su revalorización, es una oportunidad de investigación para el desarrollo de nuevos productos⁷.

Por lo anterior se pretende realizar una investigación que se enfoque en una solución, que implique la importancia de llevar a cabo aprovechamiento de un recurso proveniente de un proceso productivo, por lo anterior parte la pregunta de investigación ¿Las cáscaras del maracuyá se pueden aprovechar para emplear como materia prima en la generación de nuevos productos como la obtención de papel?

⁵ GONZALEZ VELANDIA, *et al.* Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul* [online]. 2016, n.43 [cited 2020-05-23], p499. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742016000200021&script=sci_abstract&tlng=es

⁶ PEÑARANDA GONZÁLEZ, *et al.* Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Rev. Investigación Agraria Y Ambiental*. 2017, Vol. 8, n.2, p141-50. Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2040>

⁷ BELTRAN CRUZ, Richard Esteban y PIEDRA CASTAÑEDA, Johan Sebastián. Obtención de un colorante de maracuyá a partir de su corteza. Bogotá D.C, 2017, 33p. Trabajo de grado (Ingeniero químico). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería.

2. JUSTIFICACIÓN

Una parte importante de los residuos que se generan en la industria hortofrutícola está constituida por una fracción orgánica sólida derivada del tratamiento previo de las materias primas, enormes volúmenes de residuos se producen a diario, se degradan fácilmente y son utilizados como fuentes de energía para alimentación animal, compost y parte de esa cantidad se destina directo a la basura⁸. Los productores del maracuyá a nivel mundial son Brasil, Ecuador y Colombia. La utilización industrial de este fruto cítrico en Colombia ha sido en pulpa consumida y producida en forma natural dejando como material de desecho una gran proporción del peso total de la fruta entre las cáscaras y semillas, además posee una composición entre un 17-20% de materia seca, alta en carbohidratos y fibra lo cual hace un producto orgánico con alto potencial para la obtención de nuevos productos, estos compuestos son reutilizables en un 60% gran parte se desperdicia y es debido a la falta de conocimiento y prácticas de aprovechamiento⁹. Teniendo en cuenta el potencial en cuanto a la producción que se genera del fruto y la pérdida de la cáscara, surge la necesidad de llevar a cabo un proyecto de investigación basado en aprovechamiento de las cáscaras del maracuyá como materia prima para la obtención de un nuevo producto en este caso la elaboración de papel.

La industria papelera es consciente del impacto ambiental de sus actividades, debido al uso de grandes cantidades de agua y recursos forestales que requieren para la producción¹⁰. Según la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI en Colombia, la fibra con la que se hace el papel y cartón proviene principalmente de fuente como la fibra virgen de madera de plantaciones forestales certificadas nacional e internacionalmente en manejo responsable y fibra virgen de bagazo de caña de azúcar, actualmente están en busca de fibras recicladas, proveniente de la recolección de residuos agrícolas con la importancia de aprovechar las características y propiedades químicas de los mismos para utilizar como una alternativa viable y no peligroso en la industria y así mismo disminuir parte de la problemática ambiental que generan y beneficiarse económicamente¹¹. Por la anterior información se determinará el potencial de las cáscaras a partir de sus propiedades físicas y químicas: (Hemicelulosa, Celulosa, lignina) para utilizarse como materia prima para la elaboración de papel y posteriormente comparar las propiedades del papel que se obtiene industrialmente con los resultados obtenidos de la investigación y evaluar costo-beneficio de obtener un nuevo producto a partir de un residuo orgánico.

8 GRANDE TOVAR. *Ibíd*, p9

9 SANCHEZ OSPINA, Diana Carolina. Caracterización de las pectinas extraídas de la cáscara del maracuyá (*Passiflora edulis*) y de la gulupa (*Passiflora pinnastipula*) como agentes estabilizantes en néctares de frutas. Bogotá D.C, 2016, 94p. Trabajo de grado (Ingeniero de Alimentos). Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

10 CALLE ESTRADA, et al. Elaboración de papel a partir de fibras vegetales no maderables (pinzote de plátano). Santa Cruz, Bolivia, 2014, 24p. Trabajo de investigación (científica). Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno. Facultad de ciencias exactas y tecnología.

11 SALAMANCA, Sandra Lucia. Compostaje de residuos industriales en Colombia, Técnicaña ANDI. Rev. Cienc Agr, p8, 2018.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el potencial fisicoquímico de las cáscaras del maracuyá para usar como materia prima en el proceso de elaboración y obtención de papel.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar la caracterización fisicoquímica de la muestra vegetal y condiciones de proceso en la elaboración de papel a partir de las cáscaras del maracuyá.
- Determinar las propiedades físicas y químicas del papel obtenido a partir de las cáscaras del maracuyá (humedad, resistencia, absorción, color, textura y apariencia).
- Evaluar los costos de operación para obtener papel a partir de las cáscaras del maracuyá.

CAPITULO I

4. MARCO REFERENCIAL

En el caso de cítricos por las grandes cantidades de residuos que se generan se han buscado alternativas de aprovechamiento, un ejemplo en el estudio de González Velandia, donde se encontró que los residuos es una alternativa para elaboración de papel, y aunque en este caso no se puede hablar de la sustitución de pulpa en un 100% de esta materia prima, pues a partir de procesos químicos y mecánicos se concluye que podía ser viable en un 50% (relación 50% fruta: 50% papel de reciclaje) para la sustitución de pulpa¹². Se han adelantado diferentes estudios sobre fuentes alternativas a la madera donde se han obtenido resultados satisfactorios utilizando fibras vegetales como pulpa para hacer papel a partir de residuos. Dentro de las investigaciones realizadas en la obtención tenemos que Chiluiza y Hernández, evaluaron las propiedades físicas y químicas de la *Guadua angustifolia* involucrando dos tipos de parámetros: aspectos apreciables a simple vista y medidos con facilidad, como diámetro, grosor y densidad aspectos evaluados en laboratorio como contenido de humedad y la caracterización química, basados en las normas de la Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel, y como resultado encontraron en este producto un alto potencial para la industria del papel¹³. La caña de azúcar y el bagazo de maíz son las primeras materias primas utilizadas para la preparación de pulpa para papel. Se han realizado diferentes estudios para determinar sus contenidos de celulosa, lignina y cenizas para evaluar la pureza de la pulpa, se ha encontrado que el trabajo con estos residuos requiere de más trabajo para la pulverización y blanqueo lo que es importante en el proceso de industrialización, Prado¹⁴. Otros análisis realizados en Colombia se han centrado en la piña y en los residuos de plátano. Hernández Ortega¹⁵, se evaluó dos especies de piña (*Ananas comosus* L. Merr.) y obtuvo como resultado que este papel hecho con la fibra de la corona del fruta puede ser utilizado para muchas funciones por su comportamiento y contenidos de celulosa. En el estudio de Mazzeo¹⁶, realizaron una caracterización fisicoquímica a los residuos de plátano con el fin de proponer alternativas de aprovechamiento para la obtención de papel a partir del pseudotallo. Todos estos estudios demuestran la importancia de caracterizar física y químicamente los residuos para conocer su potencial y a partir de sus características dependerá su proceso, calidad y obtención de papel.

¹² GONZALEZ VELANDIA, *ibid*, p14.

¹³ CHILUIZA BENITEZ, Cristina Ivanob y HERNANDEZ LARA, Juan Patricio. Elaboración de papel artesanal de caña guadua (*Guadua angustifolia* K). Quito, Ecuador, 2009, 186p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de ingeniería química y agroindustria.

¹⁴ PRADO MARTINEZ, *et al*. Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. Madera bosques [online]. 2012, Vol.18, n.3 [citado 2020-03-24], p37-51. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712012000300004

¹⁵ HERNANDEZ ORTEGA, Maricela. Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña *Ananas comosus* (L.) Merr. Chapingo-México, 2008, 104p. Trabajo de grado (Ingeniero Forestal). Universidad Autónoma de Chapingo. Facultad de ciencias forestales.

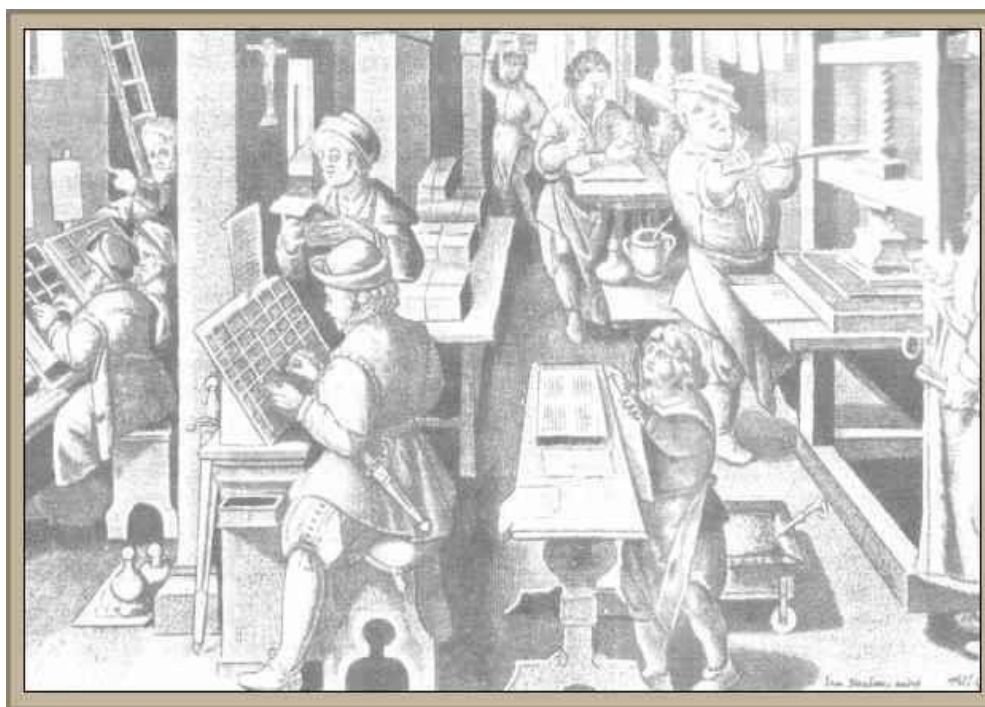
¹⁶ MAZZEO MENESES, *et al*. Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el Departamento de Caldas. Revista Educación en Ingeniería, Vol. 5, n.9, p 128-139, 2012.

4.1 MARCO HISTORICO

El papel es un material formado por fibras de celulosa vegetal. Se elabora en forma de hojas muy delgadas se usa principalmente para escribir, envolver, empaquetar objetos y para otros fines.

Antes de la invención del papel, según una leyenda, un poderoso general chino llamado Moun-Tian conoció el papiro egipcio pidió a sus artesanos que buscaran entre las plantas de su país una especie similar, En el año 105 d.C corte del emperador chino Hedi, Cai Lun empleó corteza de morera y un molde de tiras de bambú para escritura, Año 150 d.C se fabrica el papel más antiguo conservado hasta hoy elaborado a partir de trapos, china fabrico exclusivamente el papel durante 500 años, en el año de 1150 d.C se inició la primera fábrica de papel en España. En 1798 en Francia existió la primera máquina industrial de fabricación de papel, y a partir del año 1840 empieza el uso de madera triturada como materia prima para obtención de papel¹⁷.

Figura 1. Historia del papel y su fabricación.



Fuente: Pellini, C., (2014). Historia del papel y su fabricación cronología de su evolución.

¹⁷ PELLINI, Cenix. Historia del papel y su fabricación cronología de su evolución, 2009. Disponible en: https://historiaybiografias.com/el_papel/

4.2 MARCO TEORICO

Para la ejecución de este proyecto se revisa temáticas y normatividad específica que describen el proceso de obtención de papel a partir de residuos orgánicos especificando la descripción de la materia prima a utilizar, su importancia, proceso de obtención, aprovechamiento, parámetros físicos y químicos, índice de calidad.

4.2.1 Papel

El papel se compone de fibras vegetales, es decir de materia orgánica que se obtiene del resultado de un proceso de fabricación, a partir de recursos naturales. El papel consta de una pasta, masa, aditivos y agua combinados para una formulación adecuada para cada papel en particular, donde la pasta está formada por fibras de celulosa que normalmente proceden de los troncos de los árboles, la masa son ingredientes o aditivos necesarios para los pigmentos su único fin es rellenar los huecos de una compleja red de fibras para que el papel sea suave y más uniforme y el agua es esencial para una manipulación correcta¹⁸.

4.2.1.1 Papel reciclado

El uso de residuos o de papel reciclado como materia prima para la preparación de pasta ha aumentado en el transcurso de las últimas décadas, hasta el punto de que algunas papeleras dependen casi completamente del papel de desecho. En algunos países, este último se separa del resto de los residuos domésticos, en origen, antes de su recogida. En otros se realiza una separación por clases (por ejemplo el cartón, papel prensa, papel de calidad, papel mezclado) en plantas especiales de reciclaje. El papel reciclado se puede retransformar en pasta en un proceso relativamente suave, que utiliza agua y a veces NaOH. Los pequeños trozos de metal y de plástico se separan durante o después de la reconversión en pulpa, utilizando detritus sedimentado, ciclones o centrifugación. Las sustancias de relleno, colas y resinas se eliminan en la fase de lavado por corriente de aire a través de los lodos de la pasta, en ocasiones con la adición de agentes floculantes. La espuma contiene sustancias químicas indeseables y se retira. La pulpa se destinta empleando una serie de lavados que pueden incluir o no el uso de reactivos químicos (por ejemplo, detergentes tensioactivos) para disolver las impurezas restantes, y agentes blanqueantes que aclaran la pulpa. Los agentes blanqueantes utilizados en la producción de pasta reciclada son en general similares a los empleados en las operaciones de abrillantado de la pasta mecánica. Después de las operaciones de rebatido de la pasta y de destintado, la producción de hojas de papel continúa de una forma muy semejante a la utilizada empleando pasta de fibra virgen¹⁹.

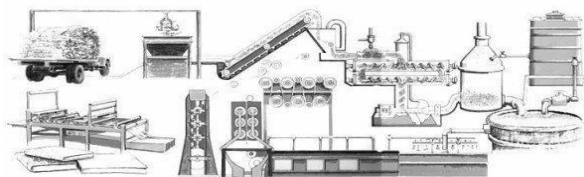
¹⁸ GAONA MEDINA, Darwin Euclides. Estudio de factibilidad para la elaboración y comercialización de papel de fibra de banano. Guayaquil-Ecuador, 2015, 111p. Trabajo grado (Magíster en Gerencia y Mercadeo Agropecuario). Universidad de Guayaquil. Facultas de ciencias agrarias.

¹⁹ TESCHKE, Kay y DERMES, Paul. Industria de papel y de la pasta del papel, 2001.

4.2.1.2 Proceso industrial del papel

El papel generalmente se clasifica por el tipo de proceso que se ha aplicado a la fibra para obtener la pulpa. Se entiende por pulpa la fibra de celulosa libre de hemicelulosa y lignina que una vez fibrilada, está lista para formar la hoja de papel²⁰. El proceso que se realiza: **primero** un traslado de la madera hasta la fábrica, los leños de la madera son llevados de la plantación forestal donde son cortados hasta la industria donde va hacer fabricado el papel, **segundo** se realiza un descortezado de madera la cual los leños de los árboles son introducidos a enormes rodillos donde ocurre la separación de la corteza del tronco debido al roce que se ocasiona entre ellos y entre el tronco y la pared del cilindro interior, **tercero** se transforma la madera en pasta en ese proceso hay separación de las fibras que conforman el centro del tronco para lo cual se rompen las uniones que existe entre las fibras y otros elementos, se realizan en este proceso dos métodos un proceso mecánico que es un proceso similar al usado en un molino se refiere a una cámara grande que gira sobre su eje, y es donde se fricciona y separan las fibras que tiene el tronco del árbol a procesar, y el proceso químico donde la madera es reducida a la granulometría adecuada se cuece en un gran recipiente a presión añadiéndole diversos productos químicos tales como sosa caustica, bisulfito sódico etc., (dependiendo del sistema elegido) y vapor de agua, **cuarto** se realiza un blanqueo de pasta dependiendo de la blancura inicial de las fibras, de la blancura que se quiera obtener en el papel y del proceso empleado para la obtención de la pasta se aplica el sistema de blanqueo adecuado. En general la pasta se trata con productos químicos tales como: cloro, hipoclorito sódico, dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, sosa caustica **quinto** en el proceso de laminación de la pasta en máquina Consiste en poner las fibras en una suspensión acuosa con consistencias comprendidas entre 4 y 12 gr/l. para que puedan unirse convenientemente y posteriormente secarse por sistemas gravimétricos, mecánicos y térmicos para obtener una lámina de papel con una proporción de humedad comprendida entre el 7% y 9% ²¹.

Figura 2. Proceso de elaboración del papel industrialmente.



Fuente: Laura, O., (2010). Elaboración de papel industrialmente.

²⁰ TORRES URIBE, Mauricio. Normalización del proceso de elaboración de papel artesanal a partir de tallos de maíz (*zea mays*). Chía-Cundinamarca, 2000, 58p. Trabajo de grado (Ingeniero de Producción Agroindustrial). Universidad de la Sabana. Facultad de Ingeniería.

²¹ MONTOYA SUAREZ, Odila Isabela y QUMIS BAQUE, Mariuxi Elizabeth. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de papel a base del pinzote de banano en Guayaquil, guayas. Guayaquil, 2015, 165p. Trabajo de grado (Ingeniero Comercial). Universidad de Guayaquil. Facultad de ciencias administrativas.

4.2.1.3 Propiedades físicas y químicas del papel

La estructura básica del papel es un entramado de fibras de celulosa (un polisacárido con 600 a 1000 unidades de sacarosa) unidas mediante enlaces de hidrógeno. Una vez separadas del resto de componentes no celulósicos mediante el proceso de elaboración de la pasta de papel, estas fibras tienen alta resistencia a la tracción, absorben los aditivos empleados para transformar la pasta en papel y cartón, y son flexibles, químicamente estables y blancas. Esos componentes no celulósicos son, en el caso de la madera, principalmente hemicelulosas (con 15 a 90 unidades iguales de sacarosa), ligninas (altamente polimerizadas y complejas, actúan como aglutinante de las fibras), extractos (grasas, ceras, alcoholes, fenoles, ácidos aromáticos, aceites esenciales, oleorresinas, esteroides, alcaloides)²². Para la elaboración del papel es determinante conocer las propiedades físicas y químicas de la materia prima a usar, ya que de estas depende directamente la calidad del papel y se establece toda la línea de producción. Dentro de las propiedades físicas que se evalúan comúnmente se encuentran el volumen, tamaño, densidad real y aparente, en el caso de los residuos el grado de madurez, el contenido de humedad y la resistencia, entre otros. Las propiedades químicas son aún más importantes, pues determinan la calidad de las fibras, es decir la resistencia a la tracción, flexibilidad, la estabilidad, la adhesión, el color, absorción de los aditivos empleados para transformar la pasta en papel. Dentro de las propiedades que se evalúan en la pulpa de papel están la celulosa, la hemicelulosa y lignina. La celulosa es un polímero, está formada sobre la base de unidades repetitivas de glucosa enlazadas por un tipo de unión covalente (fuerte) y la hemicelulosa también es un polímero, pero relativamente ramificado y compuesto por varios azúcares estos rodea los filamentos de la celulosa y ayuda en la formación de microfibrillas, es decir funcionan como material de soporte en la pared celular, la holocelulosa que representa la fracción total de polisacáridos, es decir, celulosa + hemicelulosa, la lignina es una sustancia natural que hace parte de la pared celular de muchas células vegetales, les da dureza y resistencia pero en el caso del papel se busca eliminarla para facilitar la adhesión de las fibras ²³.

La norma técnica colombiana NTC 5342 especifica los parámetros de calidad del papel:

- **Propiedades mecánicas o de resistencia:** Rigidez, resistencia y capacidad de absorción de agua son características que convierten al papel en un material apropiado para diversos usos evaluando que resiste físicamente una carga y su acción no es quebradiza. La rigidez depende de las fibras que forman el papel, ya que un papel producido con mayor contenido de fibra larga será más rígido que aquél fabricado con mayor cantidad de fibra corta. También el tipo de pulpa de celulosa usado afecta la rigidez que tendrá el papel. En este caso, la pulpa mecánica aporta más rigidez que la pulpa química²⁴.

²² FUENTES MEDINA, Michel Enrique y LEON NIETO, Cindy Malena. Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno. Cartagena, 2012, 115p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería.

²³ Ibid, p6.

²⁴ TORRES URIBE, ibid, p26.

- **Propiedades visuales o de presentación:** Blancura, brillo y opacidad son características que convierten al papel en un medio adecuado para escribir. Esta característica depende de diversos factores, como el encolado, y el retiro del contenido de la lignina si es un producto que se obtiene industrialmente pasa por una etapa de blanqueo, la hoja debe ser de color blanco brillante y cuando la hoja es obtenida artesanalmente lo más posible es que sea de color café o crema, opaca es importante saber que el proceso artesanal si la opacidad está distribuida por todo la hoja, se trata de un papel de buena calidad²⁵.
- **Propiedades de gramaje:** Indica el peso en gramos por metro cuadrado de papel, la estabilidad dimensional, define el uso al que se va a destinar el material obtenido es la capacidad del papel de mantener sus dimensiones originales al variar las condiciones ambientales o al verse sometido a esfuerzos y la humedad que es el contenido de agua como porcentaje del peso total del papel²⁶.

4.2.1.4 Modelo de diseño de experimento

Modelo del DR. Genichi Taguchi combina la ingeniería y los métodos estadísticos con el propósito de lograr una forma de examinar simultáneamente muchos factores disminuyendo tiempo y costos²⁷.

Ventaja de la metodología de Taguchi son las siguientes:

- Enfatiza en la calidad durante la etapa del diseño del proceso.
- Reconoce la importancia relativa de los factores que influyen en el desempeño de los productos o procesos.
- Enfatiza en la reducción de la variabilidad, por medio del uso de la función de pérdida y de la razón señal-ruido (existiendo una para cada objetivo que se quiera lograr con el experimento).
- Se concentra en el concepto de diseño de parámetros para formulación mejor en un proceso para ser estandarizada y adecuada para productos.
- Es utilizada como mejoramiento de procesos y productos ya existentes.

Al diseñar se tienen en cuenta múltiples variables que se conocen como factores, y cada uno de estos puede tomar distintos valores o niveles. Sin embargo cuando el número de factores y de niveles es elevado, las combinaciones posibles son muchas y el número de experimentos a realizar sería muy grande. El método que propone Taguchi se basa en la

²⁵ FUENTES MEDINA, ibid, p85

²⁶ Ibid, p46.

²⁷ HERNANDEZ, Alicia; GUILLON, María de la Paz y GARCIA, Liliana. La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad. Argentina, 2015, p 65-83. Trabajo de investigación (operativa). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca.

utilización de 'matrices ortogonales'. Estas matrices indican cuántos experimentos deben realizarse para un número determinado de factores y de niveles²⁸.

4.2.1.5 Serie ortogonal diseño experimental

La serie ortogonal especifica el número de experimentos que se requieren para llegar a una solución óptima. Esto se resume en tomar todas las combinaciones posibles de variables y reducirlas a una docena de experimentos que pueden determinar la vía más correcta para alcanzar una meta. No sólo muestra cuál es la mejor formulación en un proceso sino que también dice cuál será el costo a que se somete ese proceso si se toma el incorrecto²⁹.

4.2.1.6 Índice de la calidad de pulpa para papel

Las fibras tienen una elevada influencia en las características y propiedades del papel elaborado a partir de dicho material diferentes propiedades que se determinan son pruebas físicas y químicas que se efectúan sobre la hoja de papel y dependiendo del tipo de a obtener se realizan, pruebas de absorción de agua, que consiste en el grado de absorción de agua en la fibra que depende de la naturaleza de la misma, un alto grado de humectación garantiza que se pueda obtener un buen encolado lo que significa que en su proceso de elaboración reciben el agregado de sustancias que lo hacen parcialmente repelentes al agua. La Resistencia es una prueba de absorción que depende básicamente de la viscosidad de la solución y es utilizada para encolantes la mayoría de las pulpas requieren tener un grado de resistencia a la penetración de líquidos, por tal motivo los papeles que se producen con dichas pulpas deben ser encolados, hay algunos tipos de productos que requieren un elevado grado de absorción de líquidos, los cuales se conocen como papeles absorbentes. La prueba de Arrastre de la fibra (humedad de saturación) es una medida de la cantidad de agua absorbida por la fibra en condiciones estáticas y se expresa por gramos de fibra. Para la longitud de la fibra se realiza el análisis del tamaño de la fibra donde se debe establecer un estudio del batido aplicable a un proceso de refinación del papel, en el proceso de batido se reduce considerablemente el tamaño de la fibra facilitando esto la formación de papeles³⁰.

4.2.1.7 Proceso de Secado

El secado es una operación unitaria en la cual por medios térmicos disminuimos el contenido de agua hasta un valor deseado. Durante el secado se presentan dos fenómenos de transferencia de calor del aire caliente a la superficie y de allí al interior del material que se seca y una transferencia de masa, del interior a la superficie del sólido como agua líquida o como vapor de agua, y de la superficie se transfiere al seno del aire como vapor de agua. Este proceso se presenta en dos períodos, el periodo antecrítico o de intensidad de secado constante y el período post-crítico de velocidad de secado

²⁸ Ibid, p67.

²⁹ Ibid, p65.

³⁰ HERNANDEZ ORTEGA, ibid, p25.

decreciente. El primer período se distingue porque la cantidad de masa de agua que se evapora es constante en un determinado lapso de tiempo hasta alcanzar una humedad a partir de la cual la masa de agua por unidad de tiempo va disminuyendo. Al graficar los datos de pérdida de peso o la intensidad de secado (agua que se evapora por la unidad de tiempo) y la humedad, se obtiene una curva conocida como curva de secado, la cual es característica de cada comportamiento del material. Durante el período antecrítico la temperatura de la superficie es igual a la temperatura húmeda del aire utilizado³¹.

- **Humedad:** Se presenta como una solución líquida dentro de un sólido es decir es definido por la cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un sólido³².
- **Velocidad de aire (secado):** Es la transferencia de energía en forma de calor de los alrededores hacia el sólido húmedo, que ocurre como resultado de proceso de secado por convección³³.
- **Proceso tecnificado en el proceso de obtención de papel:** Secador- horno convectivo se utiliza como opción en el proceso de secado por convección para obtener de una manera tecnificada hojas este equipo mejora el proceso de secado, porque consiste de aire se puede calentar previamente con un calefactor. El análisis se realiza cuantitativo con ayuda de un sensor combinado de temperatura y %humedad, y un anemómetro que mide la velocidad del aire m/s³⁴.

4.2.1.8 Secado por convección

El secador convectivo de marca G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Barsbüttel, Alemania de referencia CE 130 es un equipo que sirve para secar materiales sólidos por convección. Consiste en que las sustancias sólidas húmedas se distribuyan sobre las bandejas en el canal de secado. El canal de secado sirve para conducir y calentar el aire de secado. El material a secar se reparte en bandejas. Las bandejas se introducen en un bastidor de acero inoxidable unido a la balanza situada sobre el canal. El material a secar se cambia a través de una tapa transparente existente en el flanco del canal. Con la balanza digital se mide la disminución de peso que experimenta el material a secar durante el proceso de secado. Los fundamentos del secado es eliminar el líquido adherido a una sustancia o contenido en la misma. El desarrollo del secado depende de cómo esté presente la humedad en el material a secar. La humedad superficial se evapora primero y luego es

³¹ IZQUIERDO AGUAS, Lisbeth Janet y ZULDUA MARQUEZ, Víctor. Cálculo y diseño de un secador convectivo experimental para el centro planta piloto pesquera de Taganga. Santa Marta, 2000, 101p. Trabajo de grado (Ingeniero Pesquero). Universidad del Magdalena. Facultad de Ingeniería.

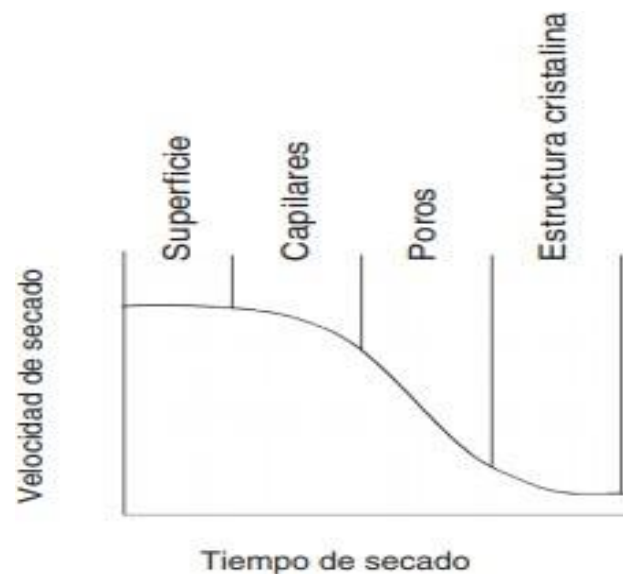
³² CABRERA, Laura. Descripción general del proceso de secado de fibra natural. Bogotá D.C, 2016, 18p. Trabajo de investigación (Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental). Corporación Universitaria Minuto de Dios. Facultad de educación.

³³ Ibid, p46.

³⁴ Ibid, p48.

transportada por el aire de secado, ya que rodea el material a secar en forma de película fina. Con mayor lentitud se desarrolla el secado de la humedad que se encuentra en los capilares y los poros del material a secar. Para esto se tienen que vencer las fuerzas capilares y la resistencia a la difusión. Aún más difícil es la eliminación del agua de cristalización, ligada por fuerzas moleculares relativamente grandes. Su expulsión exige un fuerte calentamiento del material a secar. El desarrollo del secado tiene lugar por lo tanto en varias fases. En una primera fase del secado se evapora rápidamente el líquido adherido a la superficie del material a secar, haciéndolo a una velocidad de secado uniforme. Una vez seca la superficie, comienza el secado de los capilares. Esto hace que disminuya la velocidad de secado. Al secado de los capilares le sigue el secado de los poros. Para esto se tiene que evaporar la humedad allí contenida, a fin de que se pueda difundir a través del material a secar. Este proceso es relativamente lento, por lo que la velocidad de secado sigue cayendo³⁵.

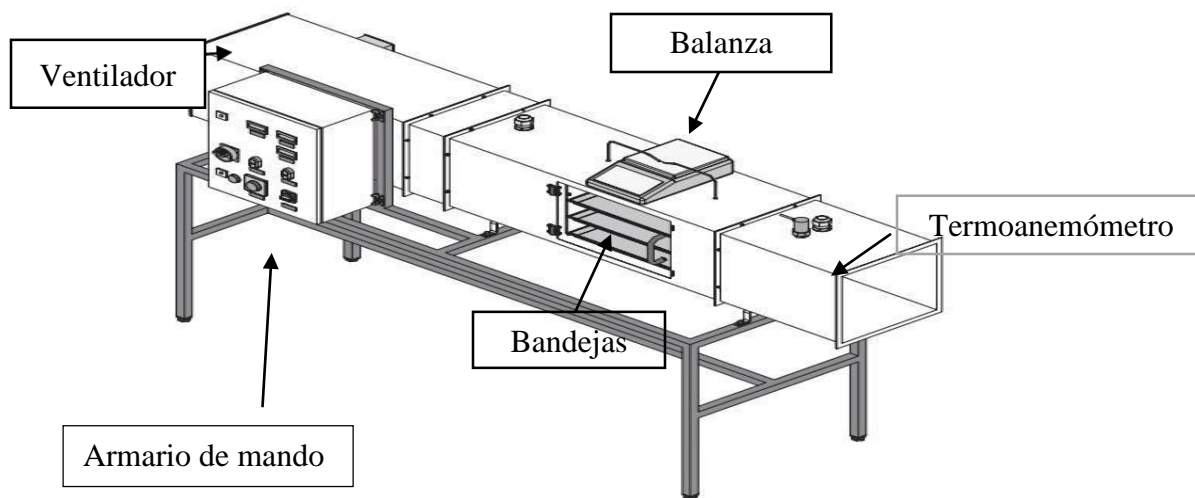
Figura 3. Fases de secado por convección.



Fuente: Daza Gómez, C., (2012). Secador asistido por bomba de calor y secador convectivo (sistema de información científica). Fases de secado.

³⁵ G.U.N.T Gerätebau GmbH, Hanskampring. CE 130 Secado por convección. Tomado de: https://gunt.de/images/datasheet/12/CE-130-Secado-por-conveccin-gunt-12-pdf_1_es-ES.pdf

Figura 4. Diseño horno convectivo.



Fuente: Daza Gómez, C., (2012). Secador convectivo.

4.2.1.8 Descripción partes de control horno convectivo

Funcionamiento del horno convectivo³⁶:

- **Armario de mando:** El armario de mando contiene un sistema de control para el ventilador y el calefactor así como visualizadores digitales para indicación de la temperatura y la humedad relativa medidas antes y después del material a secar.
- **Canal de secado:** El canal de secado está provisto de un ventilador regulable y un elemento calefactor.
- **Balanza digital:** Mide la disminución del peso (comportamiento de la masa) que experimenta el material a secar durante el proceso de secado.
- **Termooanemómetro:** Mide la velocidad del aire al final del canal de secado, en un margen de 0 - 2,5 m/s.
- **Software del programa:** El software de G.U.N.T. para el CE 130 consiste en observar en línea los valores medidos, a saber en el diagrama del sistema, en el diagrama Moiller h-x, en el diagrama x-y que informa sobre la carga de agua en el aire, en función de la temperatura y la humedad relativa. y en la curva de tiempo al iniciar. Calcula magnitudes como el caudal volumétrico de aire V en m³/h, caudal másico de aire en kg/h, velocidad de secado dm/dt en g/h, Carga x en g/kg (relación de masa) y entalpía h en kJ/kg del aire.

³⁶ G.U.N.T Gerätebau GmbH, Hanskampring. Ibid, p18.

4.2.2 Fibras vegetales

La Norma Técnica Colombiana (NTC 6019), define la fibra como elemento morfológico fundamental de las plantas, son de forma aproximadamente cilíndrica de longitud y diámetro variable cuyo principal componente es la celulosa y a partir de sus propiedades se define su empleo.

Las fibras vegetales son estructuras celulares conformadas por diferentes polímeros de celulosa, hemicelulosa y lignina, importantes a nivel mundial. Una fibra es como un filamento blando muy parecido a un cabello, cuyo diámetro es muy pequeño en relación a su longitud. Las fibras son unidades fundamentales que se utilizan en la fabricación de papel y sus propiedades están determinadas por la naturaleza de la estructura externa e interna y su composición química, por lo que deben tener suficiente resistencia, elasticidad, longitud y cohesión para poder unirse se clasifican en fibras obtenidas a partir de semillas, fibras del tallo o de corteza, fibras foliares y fibras de fruto. Las fibras vegetales procedentes directamente de la planta, son usadas en diversos productos industriales, se clasifican en “duras y blandas”, según el grado de finura de la fibra y la rigidez en el estado natural³⁷.

4.2.2.1 Uso de fibras vegetales no maderables en el papel

El uso de las fibras no maderables que se pueden manipular para hacer papel es limitado, pero todas coinciden en que se pueden utilizar todas aquellas materias primas que en su composición contengan celulosa, es decir, fibras vegetales. La producción mundial de pulpa realiza investigaciones para elaboración de papel a partir de bagazos y otras fibras no maderables, según la Norma Técnica Colombiana (NTC 6019) se pueden utilizar residuos agroindustriales como alternativa de fuente de fibra, como el bagazo de caña de azúcar, bambú, hoja de maíz (mazorca), desechos del plátano, algodón, fique, paja y otras como plantas cultivadas específicamente para utilizar como fuente de fibra³⁸.

4.2.2.2 Composición química de vegetales no maderables

La composición química de los vegetales no maderables varía según la especie y la parte que se evalúe de ellas, están constituidas en su mayoría por un material estructural llamado celulosa que existe como delgados filamentos con una longitud indefinida y que estos filamentos se llaman microfibrillas de celulosa y forman un esqueleto que está rodeado de otros materiales como hemicelulosa y material incrustante (lignina), además de extraíbles, proteínas y bajas cantidades de compuestos inorgánicos³⁹.

- **La celulosa:** Es el polisacárido más abundante en la naturaleza y probablemente uno

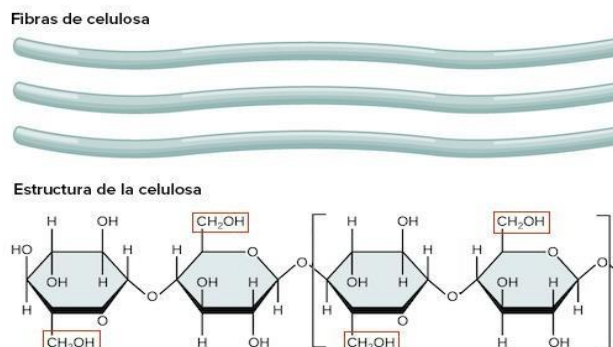
³⁷ DEQUÍZ OYOLA, Yuli Alexandra y MORENO MEDINA, Brigitte Liliana. Producción y biosíntesis de fibras vegetales, una revisión. Conexión Agropecuaria Vol. 6, n.1, 2016, p29-42. Recuperado a partir de: <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/53>

³⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Criterios ambientales para pulpa, papel y cartón y productos derivados, NTC 6019. Bogotá D.C. El Instituto. 2013. 30p.

³⁹ DEQUÍZ OYOLA, Ibid, p41.

de los más estudiados de la pared celular. El número de unidades de glucosa en una molécula de celulosa es definido como grado de polimerización (DP); por lo regular, la celulosa está formada por cadenas de unas 10,000 unidades de glucosa. La celulosa ($C_6H_{10}O_5$) es una molécula lineal construida por unidades de β -D glucosa, por lo que al unirse varias cadenas o moléculas individuales, dan origen a las estructuras denominadas microfibrillas⁴⁰.

Figura 5. Polisacáridos estructurales.



Fuente: Khan, Academy (2014). Descripción general de los carbohidratos que abarca estructura y propiedades de monosacáridos, disacáridos y polisacáridos.

- **La lignina:** Es una macromolécula amorfa que se deposita cuando la pared primaria ha detenido su engrosamiento, ésta es el segundo compuesto orgánico más abundante sobre la tierra, únicamente superado por la celulosa además es un polímero aromático heterogéneo que forma parte de los tejidos de sostén de los vegetales⁴¹.

Figura 6. Estructura química de la lignina.



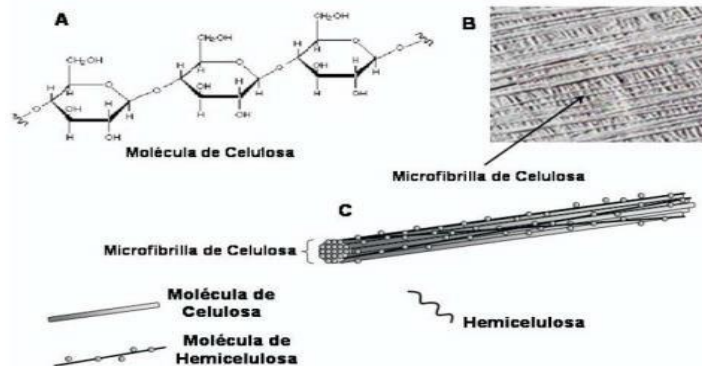
Fuente: Marín, E., (2008). Blanqueo de pastas celulósicas. Laboratorio de celulosa y papel. CIFOR-INIA.

⁴⁰ DONOSO, Jairo. Biopolímeros, 2005. Disponible en: <http://facultatciencias.uib.cat/prof/josefa.donosocampus/>

⁴¹ HERNANDEZ ORTEGA, ibid, p28.

- **Hemicelulosas:** Forman parte de la pared celular, por lo que se define como un polisacárido insoluble en agua y que a diferencia de la celulosa se hidroliza fácilmente con ácidos, los azúcares que forman a las hemicelulosas se dividen en grupos, pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, manosa y galactosa), ácidos urónicos y deoxihexosas⁴².

Figura 7. Hemicelulosa



Fuente: Cardemil, L., Handford, M & Meisel, L., (2007). Complejo de celulosa y hemicelulosa. Fisiología vegetal. Universidad de serena. Chile. Pp 1-46

4.2.2.3 Métodos de laboratorio para fibra vegetal

Los métodos analíticos son importantes en investigaciones puesto que constituyen la base para la interpretación y evaluación de componentes de la fibra⁴³:

- El método ácido detergente (**ADF**) es utilizado para determinar contenido de lignina, fue dado a conocer en el año de 1963 el cual describió el sistema de análisis por detergente como un método simple y con resultados de valores más correctos para determinar la calidad de fibra en forrajes, el procedimiento ADF fue aprobado por la Association of Official Analytical Chemist (AOAC) su preparación consiste en un residuo bajo en proteína para el posterior análisis de lignina.
- El método fibra ácido detergente (**FAD-Lig**) para determinar celulosa, consiste en que los compuestos obtenidos, después de someter el tejido vegetal a una serie de reacciones químicas, tienen una significación biológica acorde con el aprovechamiento que hacen de los mismos (Lignina + celulosa), uno de los

⁴²CIFOR-INIA. Blanqueo de pastas celulósicas. Laboratorio de celulosa y papel. 2009. Disponible en: <http://wwwsp.inia.es/Investigacion/centros/CIFOR/unidadesx/celpap/Paginas/CelulosasPapel.aspx>

⁴³ SEGURA, Freimar; ECHEVERRY, Rosario; PATIÑO, Arley y AMANDA, Mejía. Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra, 2007.

inconvenientes que presenta este método, es que la elevada cantidad de compuestos como la lignina puede impedir o dificultar el filtrado y por lo tanto no se pueda obtener la fibra neutro detergente sin embargo, tiene la ventaja que se pueden realizar varias muestras en poco tiempo y así mismo determinar el contenido en fibra vegetal.

- El método por disolvente ácido detergente (**DAD**), para determinar hemicelulosa en la muestra vegetal, se trata con una solución detergente neutra que es aclarada con amilasa termoestable para hacer que los azúcares, el almidón y las pectinas sean solubles. Los residuos restantes están compuestos por las sustancias no digeribles de la pared celular como celulosa y lignina de acuerdo a eso se hace que la hemicelulosa sea soluble, mediante el uso de un disolvente ácido detergente (**DAD**) y se toma la cantidad determinada.

4.2.3 Maracuyá

El maracuyá es un fruto tropical, se considera originaria de la región amazónica, aunque crece de forma silvestre en un área que abarca principalmente desde Colombia hasta el norte de Chile, Argentina y Uruguay; en Paraguay, donde es considerada como flor nacional, las distintas variedades están adaptadas a regímenes más o menos tropicales es una planta que crece en forma de enredadera y que pertenece a la familia de las *Passifloras*, de la que se conoce más de 400 variedades el fruto es una baya de 230 gr de peso en promedio, globosa u ovoide con un diámetro de 4-8 cm y 6-8 cm de largo, la base y el ápice son redondeados, la corteza es de color amarillo, de consistencia dura, lisa y cerosa, de unos 3 mm de espesor, el pericarpio es grueso, conteniendo de 200-300 semillas, cada una rodeada de un arilo (membrana mucilaginosa) o pulpa que contiene un jugo aromático ácido de color amarillo clara o naranja intenso, es una excelente fuente de vitamina A, niacina, riboflavina y ácido ascórbico. La cáscara y las semillas también pueden ser empleados en la industria, por los componentes que tienen⁴⁴.

4.2.3.1 Propiedades y usos del maracuyá

Su composición tiene un elevado porcentaje de agua, en casi las tres partes de su peso. Muy rica en vitaminas y minerales, como Vitamina C, provitamina A o beta caroteno, proteínas, minerales, carbohidratos y grasa, se utiliza para preparar refrescos, néctares, mermeladas, helados, pudines, conservas, etc. Según el Instituto de Tecnología de Alimentos del Brasil Taborda (2013) el aceite que se extrae de sus semillas podría ser utilizado en la fabricación de jabones, tintas y barnices. La composición general de la fruta es: cáscara 50-60%, jugo 30-40%, semilla 10-15%, siendo el jugo el producto de mayor importancia. La concentración de ácido ascórbico en maracuyá varía de 17 a 35

⁴⁴ TABORDA, Natalia. Fruto del Maracuyá. Seminario de Investigación, 2013.

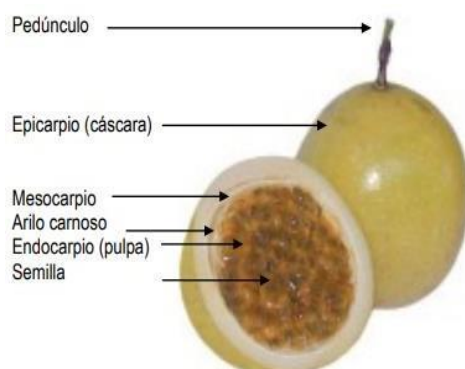
mg/100g de fruto para el maracuyá rojo y entre 10 y 14 mg/100g de fruto para el maracuyá amarillo. La coloración amarillo anaranjada del jugo se debe a la presencia de un pigmento llamado caroteno ofreciendo al organismo que lo ingiere una buena cantidad de vitamina A y C, además de sales minerales, como calcio, fierro y fibras. Cada 100 ml de jugo contiene un promedio de 53 cal, variando de acuerdo con la especie⁴⁵.

4.2.3.2 Caracterización de la cáscara del maracuyá como materia prima

Los frutos redondos son de 4 – 8 cm de diámetro, la cáscara es dura y de 3 – 10 mm de grosor, la pulpa es blanca amarillenta, espaciosa y ácida con semillas de color marrón oscuro, los tallos, hojas y zarcillos de la planta presentan un color rojizo, rosado o púrpura cuando maduran son de color amarillo claro y puede llegar a pesar hasta 100 gramos⁴⁶.

En la figura 8, se describe partes del fruto del maracuyá donde este fruto tiene alto porcentaje de epicarpio. El epicarpio representa el 47%, el mesocarpio representa el 27 %, el endocarpio representa el 6% en fruto fresco.

Figura 8. Partes del fruto del maracuyá.



Fuente: Castro Marcelo, J., Paredes Rodríguez, C., & Muñoz Alva, D., (2010). Cultivo de maracuyá. (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg).

Tabla 1. Composición química de la cáscara del maracuyá.

Análisis	Unidad	Valor
Humedad	%	3,48
Grasa	%	0,35
Proteína	%(Nx6,25)	5,88
Ceniza	%	9,38
Fibra dietética soluble	%	16,65
Fibra dietética insoluble	%	42,33
Total de fibra	%	58,98

⁴⁵ CASTRO MARCELO, Juan Julio; PAREDES RODRIGUEZ, Cesar y MUÑOZ ALVA, Dacio. El cultivo del maracuyá *Passiflora edulis* form. *Flavicarpa*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú. 2009, 30p.

⁴⁶ Ibid, p20.

Carbohidratos totales	%	21,93
Na	mg/100g	77
Ca	mg/100g	288
pH	-	6,7
Acidez	%A. Cítrico	0,447
Celulosa	%	26,72
Hemicelulosa	%	9,11

Fuente: Luna Aguilar, G., (2014). Obtención de balanceado a partir de los desechos del maracuyá (*passiflora edulis* variable *flavicarpa*) para ganado vacuno (Tesis pregrado).

4.2.3.3 Producción de las cáscaras del maracuyá y usos

A partir de la gran producción del maracuyá en el país y de la gran cantidad de extractoras, se generan una gran cantidad de subproductos tales como las cáscaras y semillas alcanzando **86724 Ton/año**⁴⁷. Las cáscaras del maracuyá es una fuente de fibras solubles en agua, presente en grandes proporciones en la corteza del fruto, según Taborda (2013) este subproducto es usada como alimento de ganado después de haber sido secada mostrando características de digestibilidad parecida a la de los cítricos, también se utiliza como ingrediente básico para la preparación de abono orgánico; además por tener un alto grado de pectinas es empleada para la fabricación de aceites y gelatinas 22%.

4.2.4 Residuos orgánicos

Cuando se habla de residuos orgánicos se hace referencia a aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, y se pueden degradar o desintegrar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica, que pueden ser aprovechados mediante su transformación generalmente en abono orgánico, por medio de diferentes técnicas como lombricultura, compostaje, digestión anaerobia y otras formas de aprovechamiento⁴⁸.

4.2.4.1 Clasificación de los residuos

Los residuos orgánicos se pueden clasificar según su naturaleza y característica física, en residuos de alimentos, estiércol, restos vegetales, papel y cartón, cuero, plásticos biodegradables. Al hablar de residuos orgánicos es importante identificar las propiedades biológicas como constituyentes, (solubles en agua), que son azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos, (hemicelulosa y celulosa), un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos (celulosa), grasas, aceites y ceras que son esterres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga (lignina), un material

⁴⁷ Ibid, p26.

⁴⁸ PINTO GOMEZ, Lina Paola y SUAREZ CUCHIMAQUE, Maily Janeth. Propuesta para el manejo de residuos orgánicos producidos en la plaza de mercado de chíá (Cundinamarca). Bogotá D.C, 2016, 81p. Trabajo de grado (Tecnólogo en gestión ambiental y servicios públicos). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de medio ambiente y recursos naturales.

polímero presente en algunos productos de papel⁴⁹.

4.2.4.2 Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

El aprovechamiento se entiende como el conjunto de fases sucesivas de un proceso, cuando la materia inicial es un residuo, entendiéndose que el procesamiento tiene el objetivo económico de valorizar el residuo u obtener un producto o subproducto son aquellos que pueden ser reutilizados o transformados en otro producto, reincorporándose al ciclo económico y con valor comercial. La maximización del aprovechamiento de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las basuras, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente. El aprovechamiento debe realizarse siempre y cuando sea económicamente sea viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente en la actualidad los desechos van directo para alimentación animal, Luna ⁵⁰, realizan aprovechamiento de las cáscaras del fruto donde se obtienen resultados viables en cuanto a disminuir el costo y el porte nutricional en alimentación diaria, en muchas partes de nuestro país principalmente en las zonas rurales y en los lugares que se dedican a procesos de alimentos, algunos separan la fracción orgánica generada en el inmueble para la alimentación de animales, en su mayoría ganado y otros para compostaje⁵¹.

4.2.5 Costos de producción

Son llamados costos de producción, a costos de una producción de cualquier proceso donde se describe los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento donde incluye diferentes ingresos ya sean dé entrada o salida indicando el beneficio bruto⁵².

4.2.5.1 Flujo de caja y costos de producción

Flujo de caja es la clave en los estudios de producción en costos y rentabilidad de un proceso⁵³.

⁴⁹ Ibid, 80.

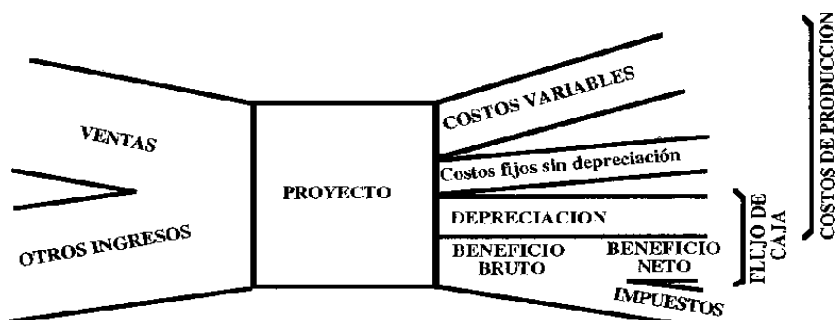
⁵⁰ LUNA AGUILAR, Gustavo Santiago. Obtención de balanceado a partir de los desechos del maracuyá (*passiflora edulis variable flavicarpa*) para ganado vacuno. Quito, 2014, 114p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Central del Ecuador. Facultad de ingeniería química.

⁵¹ RAMIREZ, Marcela; PAÑUELA, Lina María y PEREZ, María. Los residuos orgánicos como alternativa para la alimentación en porcinos. Rev. Cienc Agr. 2017, Vol.34, n2, p107-124. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v34n2/v34n2a09.pdf>

⁵² ZUGARRAMURDI, Aurora y PARIN, María. Clasificación de los costos de producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Ingeniería Económica. Universidad Nacional de la Plata. (Argentina), 1998.

⁵³ Ibid, p12.

Figura 9. Modelo de flujo de caja para una planta/línea/procesamiento



Fuente: Zugarramurdi, A., & Parin, M., (2000). Flujo de caja para una planta/línea/procesamiento. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Ingeniería Económica. Universidad Nacional de la Plata. (Argentina).

4.2.5.2 Clasificación de costos de producción

Los costos de producción se clasifican de la siguiente manera en costos variables directos que son los proporcionales a la producción y costos fijos que son independientes de la producción⁵⁴.

Tabla 2. Clasificación costos de producción

Costos variables	Costos fijos
Materia prima	Costos de inversión
Mano de obra directa	Impuestos
Supervisión	Seguros
Mantenimiento	Costos de administración
Servicios	Costos de venta
Suministros	Costos de distribución

Fuente: Zugarramurdi, A., & Parin, M., (2000). Clasificación de los costos de producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Ingeniería Económica. Universidad Nacional de la Plata. (Argentina).

4.2.6 Fábricas de papel en Colombia

Corrugados de Colombia, Incolpa (industria colombiana de papeles, Cartones de América, Colombiana Kimberly, Empacor S.A, Empaques industriales de Colombia, Bolsas de papel UNIBOL S.A, Papeles Nacionales, Papeles y Cartones, SONOCO de Colombia S.A, PROPAL S.A empresas 100% colombianas elaboran Papeles y Cartones a partir de materias primas 100% recicladas, como cajas y empaques hasta papeles para impresión de alta calidad dedicada a la producción y distribución de bolsas rollos y resmas de papel, bolsas y rollos de polietileno en alta y baja densidad impresos empresas de

⁵⁴ Ibid, p13.

fuerte interrelación como las principales industrias del sector que fortalecen sus inversiones en tecnologías, reconversión y modernización para aumentar la capacidad productiva, calidad y agregación de valor en Colombia⁵⁵.

4.2.6.1 Competitividad y producción de la fabricación de papel en Colombia

Uno de los datos más destacados en el sector papelerero es el incremento de producción a un 3,3% con un mercado en el externo de un aumento del 24,3% en las exportaciones del papel contribuyendo así mismo a la economía, sus exportación son a los países de Ecuador, Perú y Centroamérica . En Colombia la fabricación de papel es de suma importancia, en los últimos años las ventas al exterior fueron de \$4,029.194 dólares en los años de 2000 a 2010 según datos de la ANDI actualmente las ventas al exterior asciende una cifra de \$9,835.950 dólares, lo cual nos indica que la industria papelerera ha apostado con gran fuerza en los últimos años y factores como la tecnificación de su proceso. Actualmente la producción de papel en Colombia representa el 6% en américa latina se consumen 1,650.537 toneladas anuales de papel que es obtenido principalmente de tres fuentes sostenibles la fibra virgen de la madera con un (26,7%), la fibra virgen de bagazo de caña de azúcar con un (12,42%) y fibra reciclada recolectada de residuos de algún producto después de su consumo con (60,81%). Los ciclos de la producción se basan en un modelo de economía circular donde los residuos se convierten en materia prima para el proceso de obtención del papel⁵⁶.

4.2.6.2 Características del mercado nacional

La industria de pulpa, papel y cartón contiene las siguientes características⁵⁷:

- La Industria de Pulpa, Papel y Cartón es subsector del sector primario de la economía, el sector forestal muestra una pequeña contribución en la economía del país, debido a que se valora de una manera desagregada, no se considera de manera integrada el carácter sectorial que posee. Así mismo la falta de vínculo que ha existido, entre el bosque y las empresas transformadoras y comercializadoras de los productos que de este obtienen, falta de conocimiento y aplicación de prácticas para perpetuar el bosque y obtener el máximo rendimiento.
- La estructura empresarial de la industria del papel en Colombia está agrupada en pocas empresas, con gran fortaleza de producción debido a que presentan economías a escala e intensivas en capital.

⁵⁵ ANDI, cámara de la industria de pulpa, papel y cartón. Sector papelerero en Colombia crece y se destaca con el desarrollo sostenible [sitio web]. Bogotá; [Consultado: 20 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/home/3294-sector-papelerero-en-colombia-crece-y-se-d#>

⁵⁶ ANDI, Ibid, p2. Disponible en: <http://www.andi.com.co/home/3294-sector-papelerero-en-colombia-crece-y-se-d#>

⁵⁷ CRUZ ORJUELA, Angélica y PERDOMO ROSAS, Diana Patricia. Análisis de competitividad en el sector de la industria del papel, cartón y sus productos en Colombia. 2011. Recuperado de: <https://ciencia.lasalle.edu.co/economia/184/>

- La Industria de Colombia es importador de diferentes variedades de pulpas utilizadas en el proceso de fabricación del papel.

4.2.6.3 Análisis de costos de producción de papel en Colombia

En las empresas de la industria papelera la mayoría realizan la compra de la celulosa es decir la pulpa con la cual se obtiene el producto, por el método mecánico la empresa debe contar con mano de obra directa es decir más o menos 12 operadores con el fin de que se pueda lograr la producción del mes, un jefe de producción y empleados encargados de la administración. La producción mensual viene por la capacidad de la maquinas principalmente la filtradora que puede filtrar más o menos hasta 0,93 toneladas por hora⁵⁸.

Tabla 3. Composición de los costos para obtención de papel industrial (mecánico).

Costos Variables		
Materia prima/mes	Celulosa/fibra	\$ 65,041.836
	Reactivos	
Servicios/mes	Energía	\$ 185,960.542
	Agua	
Total		\$ 251,002.378
Costos Fijos		
Amortizaciones/mes	Mantenimiento Maquinas	\$ 45,741.836
	Inmueble	
Salarios/mes	Salario operadores	\$ 70,000.000
	Salario Administradores	
Costos Totales		\$ 391,744.214

Fuente: ANDI (2019). Análisis de costos para obtención de papel a nivel industrial.

En la tabla 3 describe los costos fijos en producción que actualmente está en Colombia para obtener 133,083 toneladas de papel por mes. Según la ANDI Por el método Kraft las condiciones para obtención son más grandes, la mano de obra productiva oscila a más de 18 personas debido a las exigencias del proceso de elaboración para este proceso se utiliza una máquina que puede procesar 1,36 toneladas de materia prima por hora.

Tabla 4. Composición de los costos para obtención de papel industrial (Kraft).

Costos Variables		
Materia prima/mes	Celulosa/fibra	\$ 65,041.836

⁵⁸ ANDI. Disponible en: <http://www.andi.com.co/home/3294-sector-papelero-en-colombia-crece-y-se-d#>

	Reactivos	-Peróxido de hidrogeno -Sulfuro de Sodio -Hidróxido de sodio -Blanqueadores	\$ 80,000,000
Servicios/mes	Energía		\$ 185,960.542
	Agua		
Total	\$ 331,002.378		
Costos Fijos			
Amortizaciones/mes	Mantenimiento Maquinas		\$ 45,741.836
	Inmueble		
Salarios/mes	Salario operadores		\$ 70,000.000
	Salario Administradores		
Costos Totales			\$446,744.214

Fuente: ANDI (2019). Análisis de costos para obtención de papel a nivel industrial.

En Colombia reporta que el consumo de energía por peso de papel es de es de 9 kw/h lo que significa que se necesita un promedio de 500 kw/h para producir 200kg de papel el consumo de agua se da por toneladas en \square^{359} .

⁵⁹ ANDI, Disponible en: <http://www.andi.com.co/home/3294-sector-papelero-en-colombia-crece-y-se-d#>

CAPITULO II

5 DISEÑO METODOLOGICO

De acuerdo a la información requerida se procede a la búsqueda de información en páginas de internet, libros, revistas y tesis relacionadas con la producción y el reciclado de papel, estudios previos sobre aprovechamiento de residuos para la obtención de nuevos productos que aporten datos a la investigación como características y propiedades de las cáscaras del maracuyá.

Para el diseño del proceso de obtención de papel se realizó un estudio de los diferentes procesos manejados en la industria papelería existentes, determinando las condiciones más favorables y las variables relevantes que intervienen en cada una de las etapas del proceso.

5.1 Ubicación

Las pruebas del proyecto se desarrollaron en el laboratorio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) CEAD Bucaramanga ubicado en la Cra 27 # 40-43.

5.2 Materiales

5.2.1 Materia prima

Para el diseño experimental del proceso se tomaron como materia prima para el proceso de obtención de papel, cáscaras del maracuyá provenientes de diferentes plazas de mercado donde realizaban procesos con este fruto.

5.2.2 Equipos de laboratorio

Tabla 5. Equipos de laboratorio requeridos.

Equipos de laboratorio				
ELABORACION	LABORATORIO	APOYO	EQUIPOS	REACTIVOS
Recipientes metálicos	Vaso precipitados de 300ml de forma alta	Cámara para fotografía	Equipo de calentamiento	Agua destilada
Colador	varilla de vidrio	Computador	Baño maría	Ácido acético
Recipientes en vidrio	Bureta de 50 ml	USB	Parrilla eléctrica y agitador magnético	Clorito sódico
Bastidores	pipeta de 25 y 100 ml	Internet	Equipo para filtración	Hidróxido de sodio

Cortador metálico	Probeta graduada de 100ml con tapón de vidrio esmerilado	Fotocopias	Estufa de secado, estufa de vacío y desecador	Hipoclorito
Bandejas Metálicas	Vasos precipitado de 100ml, 1000ml y 2000ml	Libros	Aparato desintegrador (Licuadora)	
Pinzas metálicas		Impresora	Molino de discos manual	
			Termómetro	
			Termobalanza	
			pH-metro	
			Desecador infrarrojo	

Fuente: Autora

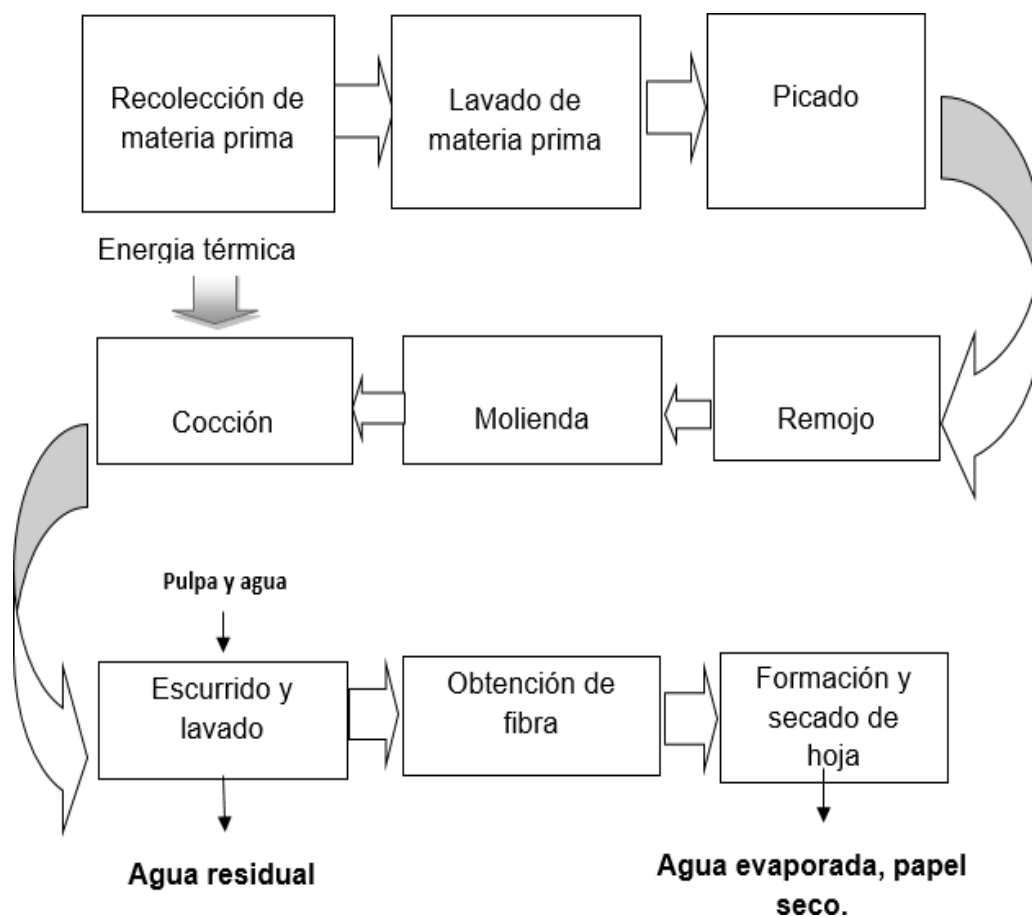
5.3 Determinación de celulosa, hemicelulosa y lignina en muestra vegetal.

La siguiente etapa de la investigación se centró en evaluar las propiedades químicas en la muestra vegetal antes de su proceso de transformación, determinantes en la elaboración de papel para observar que nos aporta esta materia prima.

Para la evaluación de estas propiedades se preparan muestras por medio de ensayos preliminares. Para el proceso de determinación de celulosa, hemicelulosa y lignina, se utiliza el procedimiento para liberar la muestra de extractivos (componentes solubles en solventes neutros que puedan interferir con algunos análisis químicos posteriores) una vez listas las muestras se procede a estimar el contenido de hemicelulosa mediante el método por disolvente ácido detergente (**DAD-FND**), que consiste en una solución detergente neutra que es aclarada con amilasa termoestable para hacer que los azúcares, el almidón y las pectinas sean solubles y así determinar el contenido de hemicelulosa (g/kg), para la determinación del contenido de celulosa se realizó por el método fibra ácido detergente (**FAD-Lig**), consiste en que los compuestos obtenidos, después de someter el tejido vegetal a una serie de reacciones químicas, tienen una significación biológica acorde con el aprovechamiento que hacen de los mismos (Lignina + celulosa) (g/kg), de igual manera para la determinación del contenido de lignina se utiliza el método ácido detergente (**ADF**) el cual describe el sistema de análisis por detergente como método simple su preparación consiste en un residuo bajo en proteína para el posterior análisis.

5.4 Proceso de elaboración y obtención de papel

Figura 10. Etapas de elaboración del papel.



Fuente: Torres Uribe, M., (2000). Elaboración de papel samarkanda

5.4.1 Descripción de proceso de elaboración

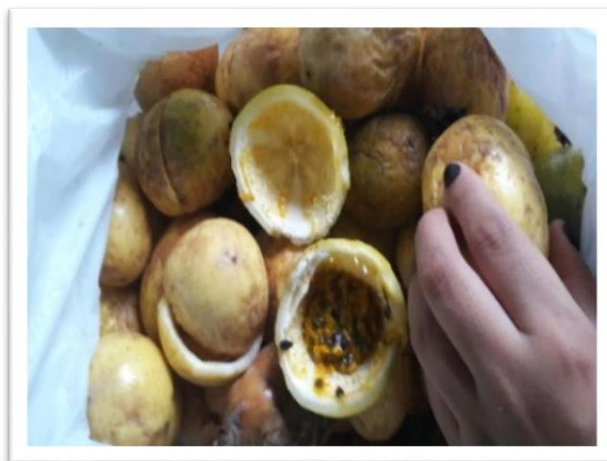
En la investigación León y Fuente⁶⁰, en la fabricación de papel presentan en cada una de las etapas del proceso de fabricación de papel, mencionadas a continuación:

5.4.1.1 Recolección y limpieza

Esta operación se realiza manualmente seleccionando cada cáscara de la fruta de manera que la materia prima esté libre de elementos extraños como tierra e insectos.

⁶⁰ FUENTES MEDINA, Michel Enrique y LEON NIETO, Cindy Malena. Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno. Cartagena, 2012, 115p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería.

Figura 11. Recolección de materia prima.



Fuente: Autora

Figura 12. Limpieza de materia prima



Fuente: Autora

5.4.1.2 Picado

Una vez se reciben la materia prima se cortan longitudinalmente en dos o en cuatro mitades (dependiendo del grosor de la cáscara para cortarlos luego transversalmente en trozos de 2 cm de largo aproximadamente, con el fin de obtener pulpa de fibra larga. Ésta

influye positivamente en la textura del producto final ya que aclara y suaviza la hoja, llegando a aportar hasta un 20% del material celulósico.

Figura 13. Picado de materia prima.



Fuente: Autora

5.4.1.3 Remojo

Cuando la materia prima está seca, deben ponerse los trozos ya picados en remojo durante 12 horas, en promedio; de otra manera, la operación de molienda se hará más difícil porque los trozos se atascan en el tornillo sin fin y en los discos del molino.

Figura 14. Remojo de materia prima.



Fuente: Autora

Figura 15. Remojo de materia prima después de 12 horas.



Fuente: Autora

5.4.1.4 Cocción

Para realizar esta operación se utilizan recipiente metálico con capacidad de 3 litros de capacidad, que pueden contener 2 Kg de materia prima. El tiempo de cocción oscila entre 50 minutos y una hora, cuando se pueden deshacer trozos de la cáscara frotándolos.

Figura 16. Cocción de materia prima.



Fuente: Autora

5.4.1.5 Molienda

El proceso consiste en reducir de tamaño los trozos de materia prima para ayudar a que penetre el líquido alcalino. Esta operación se realiza por medio de un molino de discos manual, que se ajusta para que se obtenga un debido tamaño. Para obtener papeles de textura fina, es decir, de un tamaño de fibra más corta, se opera con el molino manual, la primera parte se reduce los trozos hasta en un 40% de su tamaño y el segundo los reduce hasta un 10% más de su tamaño original.

Figura 17. Operación manual del molino.



Fuente:Autora

Figura 18. Molienda de materia prima.



Fuente: Autora

5.4.1.6 Escurrido y lavado

Después de cocción de las cáscaras del maracuyá se obtiene la pulpa, que se escurre y exprime hasta retirar el líquido que contiene la hemicelulosa y la lignina disueltas; luego se procede a lavar con agua y a exprimir esta pulpa, hasta que salga un líquido claro o hasta que el pH baje a un valor entre 8 y 7. De no efectuar correctamente este procedimiento el papel resultante es quebradizo y, además, algo higroscópico, facilitando el crecimiento de hongos y moho sobre la superficie debido a la presencia de hemicelulosa, material altamente higroscópico.

5.4.1.7 Obtención de fibra

Una vez que se ha cocinado las cáscaras, este se fibrilla por medio de una licuadora. Esta operación se hace para aumentar la unión por puentes de hidrógeno entre fibras. Aquí los haces fibrosos de celulosa se hinchan y, sobre todo, permiten que en las puntas se formen fibrillas a manera de “escoba”, que son las que facilitan las uniones, la pulpa se escurre y se lava con agua hasta que el color cambia de café oscuro a amarillo pálido.

Figura 19. Obtención de la fibra.



Fuente: Autora

Figura 20. Obtención de fibra fina



Fuente: Autora.

5.4.1.8 Formación y secado de la hoja

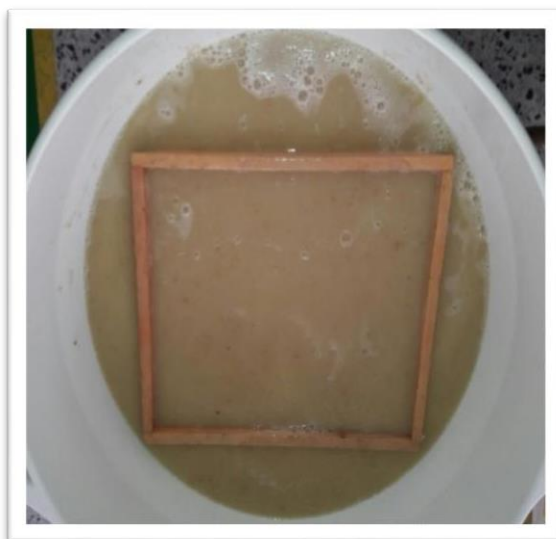
Para formar la hoja se utiliza un bastidor rectangular de área interna de 22 x 28 cm, en madera y forrado en tela de nylon. La pulpa se mezcla en un tanque con agua para hacer hojas de gramaje desde 70 g/□² hasta de 600 que son de gramaje grueso, se incorporan varias concentraciones de pulpa fibrilada en agua; después de formada cada hoja, se repone el 20% en peso de pulpa dentro del tanque. Se agita suavemente la forma en todas direcciones, mientras escurre el agua a través de la malla del bastidor, con movimientos cortos y rápidos de manera que no se salga la mezcla de su marco. El objetivo de estos movimientos es que las fibras se orienten aleatoriamente y no en un solo sentido, como en el papel elaborado industrialmente, adquiriendo la hoja de papel ciertas características especiales de brillo, textura y resistencia. Posteriormente, se retira el marco dejando solamente el bastidor con la hoja formada sobre este. Esta operación es muy importante y requiere una habilidad especial, ya que, si no se hace cuidadosamente, la pulpa que forma la hoja no queda uniformemente repartida y por tanto, la hoja puede quedar más gruesa en una sección que en otra. Para desprender la hoja del bastidor se absorbe, lo más que se pueda, el agua remanente con un paño absorbente; cuando la hoja aún húmeda tiene una consistencia adecuada y se procede a poner en contacto con un horno convectivo para acelerar su proceso de secado y obtener la hoja con unas características adecuadas.

Figura 21. Bastidor adecuado para la formación y secado de la hoja.



Fuente:Autora

Figura 22. Formación de la hoja.



Fuente:Autora

Figura 23. Obtención de la hoja.



Fuente: Autora

Figura 24. Secado de la hoja en horno convectivo.



Fuente: Autora

5.5 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado obedece al modelo del DR. Genichi Taguchi método que se basa para indicar cuantos experimentos deben realizarse para un número determinado de factores y de niveles especificando el número de experimentos que se requieren para llegar a una formulación adecuada⁶¹.

⁶¹ HERNANDEZ, Alicia. Ibid, p16.

Se determina con la siguiente ecuación:

$$N = (n)^k$$

$$N = (n)^k$$

Donde:

- (N) Es el número de experimentos que se requieren
- (n) El número de niveles de cada factor.
- (n) El número de factores en la matriz ortogonal.

Aplicando la ecuación de Genichi Taguchi:

$$N = (3)^3 = 27$$

Descripción: Según la ecuación son 27 experimentos realizados en este proceso.

En la matriz ortogonal cada columna corresponde a un factor (variable) y cada fila corresponde a uno de los experimentos que se proponen. De esta forma la matriz puede estar llena de “1”, “2” o “3” representando respectivamente los posibles niveles posibles para cada factor.

5.5.1 Principales factores a controlar

Los factores críticos de fabricación del papel se refieren a aquellos que tienen que ver con las características y resistencia finales de la hoja⁶².

- **Concentración de pulpa en el tanque:** Esta variable nos indica que cantidad de pulpa es el más adecuado para obtener una hoja de un grosor uniforme.
- **Temperatura:** Esta variable se determinó para implementar la temperatura más recomendada del proceso de secado para obtener la hoja.
- **Tiempo de secado:** La variable tiempo de secado se determinó desarrollando ensayos preliminares para implementar el tiempo de secado más recomendado en este proceso se utiliza horno (secador convectivo) marca GUNT HAMBURT referencia CE130.

⁶² GONZALEZ VELANDIA, Krystle Danitza; DAZA REY, Dayra; CABALLERO AMADO, Paola Andrea y CHADAE MARTINEZ, González. Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul* [online]. 2016, n.43 [cited 2020-05-23], p499-517. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742016000200021&script=sci_abstract&tlng=es

5.5.1.1 Determinación de la calidad en la hoja

Con base en la norma NTC 5342 se evaluaron 6 parámetros de calidad del papel obtenido⁶³:

- **Resistencia:** Resiste físicamente una carga y su acción no es quebradiza.
- **Humectación:** Resistente a la absorción de agua.
- **Textura:** Lisa no contenidos de pigmentos.
- **Color:** Esta característica depende de diversos factores, como el encolado, y el retiro del contenido de la lignina si es un producto que se obtiene industrialmente pasa por una etapa de blanqueo, la hoja debe ser de color blanco brillante y cuando la hoja es obtenida artesanalmente lo más posible es que sea de color café o crema, opaca es importante saber que el proceso artesanal si la opacidad está distribuida por todo la hoja, se trata de un papel de buena calidad.
- **Pliegues:** Facilidad de manipular la hoja para hacer doblez y capacidad del papel de resistir el uso continuo y no se rompa.
- **Escritura:** Permite la escritura sobre la hoja.

5.5.1.2 Descripción del diseño experimental

Para formulación base se estableció tres variables, con un total de 3 niveles a diferente temperatura (35, 40 y 45°C), tabulando la concentración en todos los ensayos de (400, 500 y 600 gramos de pulpa), y tiempos de proceso de secado de (7, 8 y 9 horas) (Torres, 2000). A partir de la formulación base, se adecuó las condiciones del proceso de elaboración y obtención de las hojas, se observaron los resultados obtenidos del comportamiento de las 27 muestras del arreglo experimental, frente a las variables (concentración de pulpa, temperatura de secado y tiempo de secado). Se evaluaron las características sensoriales y visuales de calidad de las hojas obtenidas a partir de 6 parámetros (resistencia, humectación, textura, color, pliegues y escritura) y se estableció para los resultados (Malo) que no presenta la característica, (Regular) presenta la característica del parámetro pero no en su totalidad y (Bueno) presenta la característica.

⁶³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Papel y cartón, muestreo para determinar la calidad, NTC 5342. Bogotá D.C. El Instituto. 2005. 33p.

Así se concluyeron las condiciones que presentan las mejores características en cuanto a los parámetros calidad.

5.5.2 Determinación de %Humedad en el proceso de secado del material

Para este proceso se trabajó con un equipo de marca G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Barsbüttel, Allemani de referencia CE 130 secador por convección como banco de ensayos que consta de un canal con una ventana transparente que permite observar el material a secar durante el ensayo. El aire de secado se hace llegar al canal por medio de un ventilador y pasa por encima del material a secar. Se realizó un análisis cuantitativo con datos de temperatura y humedad, datos de la balanza digital y un termoanemómetro que mide la velocidad del aire al iniciar y al finalizar el proceso de secado⁶⁴.

En los ensayos abarca la determinación de la velocidad de secado del material y la variación del proceso de secado en función de diferentes velocidades del aire que pasa por el material.

Durante la realización del ensayo sin software del equipo CE 130, se realizó registro manual de los siguientes datos a intervalos de tiempo regulares para determinar las magnitudes y cifras características:

- Temperatura del aire antes del material a secar (T1)
- Humedad relativa del aire antes del material a secar
- Temperatura del aire después del material a secar (T2)
- Masa total m del material a secar, o respectivamente del material a secar teniendo en cuenta el peso de las bandejas de secado.
- Determinar en el diagrama de Mollier la carga x y entalpia h para los respectivos estados del aire.

5.5.2.1 Calculo de magnitudes en el proceso de secado

- Caudal volumétrico de aire \dot{V} en m^3/h
- $$\dot{V} = v * \frac{3600}{1 \text{ h}}$$

Donde:

v =Velocidad del aire en m/s

⁶⁴ G.U.N.T Gerätebau GmbH, Hanskampring. Ibid, p20.

Sección transversal del canal de secado A en m^2

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot d^2 \\ Q &= \pi \cdot d \cdot h \cdot v \\ v &= \frac{Q}{\pi \cdot d} \end{aligned}$$

- Velocidad de secado en g/h

$$\frac{Q}{A} = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

Donde:

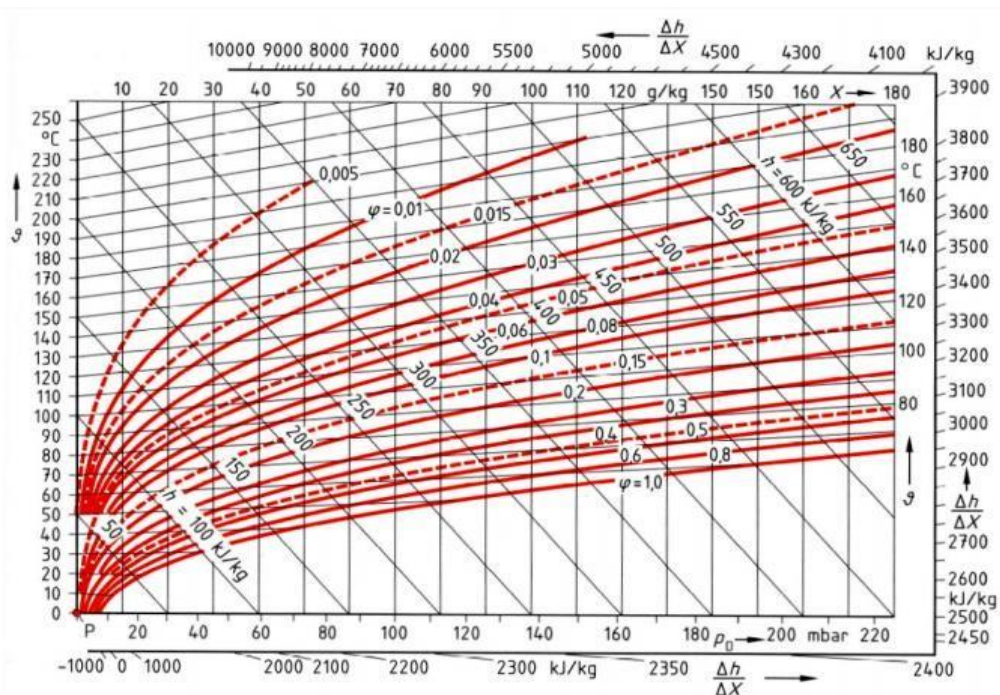
Δm Variación de la masa en (g)

Δt Intervalo del tiempo

- Carga eléctrica (x) g/kg y entalpia (h) kJ/kg

Se calcula por medio de la temperatura, la presión del aire y la humedad relativa del aire al momento de iniciar el proceso por el diagrama de Moiller h-x aire húmedo un medio auxiliar importante para evaluar el resultado de un proceso de secado. El proceso de secado se contempla aquí a través del estado del aire de secado antes y después del material a secar. El diagrama de Mollier informa sobre la carga de agua en el aire, en función de la temperatura y la humedad relativa.

Figura 25. Diagrama de Moiller h-x aire húmedo.



Fuente: (G.U.N.T Gerätebau GmbH, Hanskampring 2019).

Las líneas del diagrama de Mollier significan:

1. Líneas de temperatura constante (isotermas) $T=^{\circ}\text{C}$
2. Líneas de entalpía específica constante $h=\text{kJ/kg}$
3. Líneas de humedad relativa constante. $\phi \% \phi . \phi$
4. Líneas de carga constante $x=\text{kg}/\text{kg}^3$
5. Líneas de presión atmosférica=bares

5.5.2.2 Cifras características en el proceso del secado

La cifras características mas importantes en el proceso de secado, es el contenido de humedad **V** en material a secar.

$$V = \frac{M_{\text{agua}}(\text{kg})}{M_{\text{total}}(\text{kg})} = \frac{M - M_{\text{seco}}}{M_{\text{total}}} = \frac{(M) - (M_{\text{seco}})}{(M) + (M_{\text{seco}})}$$

Donde:

M = Masa total a secar

M_{seco} = Masa de sustancia sólida en estado puro

Variación del contenido de humedad durante el proceso de secado deduciendo la velocidad de secado (**v**).

$$(v) = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_0 - V_{t+1}(\text{kg agua/kg seco})}{t_{t+1} - t_0(\text{seg})} = \frac{(V_0) - (V_{t+1})}{(t_{t+1}) - (t_0)} = \frac{(V_0) - (V_{t+1})}{(t_{t+1}) - (t_0)} \cdot h$$

El ensayo de secado termina cuando expira el tiempo de secado previamente fijado, o bien deja de disminuir la masa total m del material a secar.

5.5.3 Determinación del gramaje de la hoja

En el proceso de obtención de la hoja es muy importante su gramaje, se obtiene dividiendo el peso final de la hoja y el producto del ancho y largo (área de la hoja) el resultado se tiene en cuenta ya que este define el uso a que se va a destinar el material dando como resultado su capacidad de resistencia⁶⁵.

Fórmula para determinar gramaje en hoja de papel:

$$\text{Gramaje} = \text{Ancho} \times \text{Largo} = \text{cm}^2$$

$$\text{Gramaje} = \frac{\text{Peso}}{\text{Área}} = (\text{g/cm}^2)$$

⁶⁵ TORRES URIBE, Mauricio. Normalización del proceso de elaboración de papel artesanal a partir de tallos de maíz (*zea mayze*). Chía-Cundinamarca, 2000, 58p. Trabajo de grado (Ingeniero de Producción Agroindustrial). Universidad de la Sabana. Facultad de Ingeniería.

$$\text{Coeficiente de absorción} = \frac{\text{Peso de la muestra (g)}}{\text{Área de la muestra (cm}^2\text{)}} = \text{g/cm}^2$$

5.5.4 Prueba de absorción del material

Se pesó 10g de muestra y en un Beaker de 1000 ml con 800ml de agua a 35°C se dejó caer la muestra sobre el Beaker y se midió el tiempo en el que alcanza el fondo del recipiente. Se anota si el tiempo medido pasa de los 9 segundos se requiere aplicar humectantes si es menor de 9 segundos presenta buena humectación. Los resultados obtenidos (entre 2 y 4 segundos) dan a entender que se cuenta con una pulpa de excelente humectación ⁶⁶

5.5.5 Coeficiente de rigidez

Hernández (2008), comenta que el coeficiente de rigidez a la relación existente entre el grosor de la pared celular (2P) y el diámetro de la fibra (D), considerando para ello dos veces el espesor de la pared por evaluarse a su proporción en el diámetro de dicha fibra; este coeficiente sirve para clasificar propiamente que tan gruesa o delgada es la pared celular, también es un indicativo del grado de aplastamiento o colapso de las fibras durante la formación del papel, aspecto que se relaciona directamente en la superficie de adherencia entre las fibras y con ella la resistencia del papel. Se puede calcular de la siguiente manera:

$$CR = 2P/D$$

Dónde:

CR = Coeficiente de rigidez

2P = Dos veces el espesor de la pared celular

D = Diámetro total de la fibra

Para el espesor de la hoja obtenida de papel se utiliza el calibre pie de rey universal, para poder realizar la medida, se utiliza midiendo el grosor de varias hojas debido a que intentar medir el de una sola hoja el calibre no aprecia nada. Se calcula posteriormente el grosor de una hoja dividiendo el valor obtenido entre el número de hojas.

Por medio de este diseño experimental, se desea determinar que las propiedades química y físicas revele los contenidos necesarios de componentes en los residuos orgánicos en este caso en las cáscaras del maracuyá, como potencial viable para

⁶⁶ HERNANDEZ ORTEGA, Maricela. Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña *Ananas comosus* (L.) Merr. Chapingo-México, 2008, p56.

convertir en materia prima para obtención de fibra/celulosa para la elaboración de papel, remplazando materiales como la madera.

5.5.6 Costos de operación para obtener papel

Ante los resultados del rendimiento a obtener en el trabajo de campo, se evaluó en primera instancia los costos de operación, se compararon con precios en el mercado, para reflejar que la obtención de papel a partir de residuos puede ser rentable en cuanto a un producto nuevo y útil, y la cantidad de materia prima requerida se determinaron⁶⁷:

- **Costo variables:** Obtener los costos de producción para tal fin, se parte de los costos obtenidos a través de las pruebas de laboratorio como son reactivos y equipos a utilizar para el proceso de obtención.
- **Costos fijos a escala industrial:** Costos de materia prima, reactivos y equipos incluir mano de obra y costos administrativos, y desde esta perspectiva se determinó si es viable obtener el producto o trabajar con otros materiales buscando la economía en su producción.
- **Costo-beneficio:** Para complementar el análisis se realizó la relación costo-beneficio con base en la información del precio y los costos de producción.

⁶⁷ CRECENEGOCIOS. Análisis costo-beneficio, 2019. Disponible en: <https://www.crecenegocios.com/analisis-costo-beneficio/>

CAPITULO III

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para una mejor comprensión de este capítulo referente a los resultados, discusión y análisis del presente trabajo de grado se ha estructurado en tres secciones que a continuación se mencionan:

SECCIÓN 1. Caracterización fisicoquímica de la muestra vegetal y condiciones de proceso en la elaboración de papel a partir de las cáscaras del maracuyá.

SECCIÓN 2. Determinar las propiedades físicas y químicas (humedad, resistencia, absorción, color, textura y apariencia) del papel obtenido.

SECCIÓN 3. Evaluar los costos de operación para obtener papel a partir de las cascaras del maracuyá.

6.1 SECCIÓN 1

En esta sección describe los resultados de laboratorio, determinación del contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa en las cáscaras del maracuyá y los resultados a partir de diseño aplicado para adecuar mejor formulación para obtención del papel.

Tabla 6. Resultados de laboratorio muestra vegetal.

DESCRIPCIÓN	RESULTADO (g/kg)	%
Lignina	126,6	12,6
Celulosa	224	22,4
Hemicelulosa	114,4	11,4

Fuente: Laboratorio Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Tabla 7. Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en residuos vegetales.

Material	%Celulosa	%Hemicelulosa	%Lignina
Maderas blandas	38-46	23-31	22,34
Maderas duras	38-49	20-40	16-30
Paja	28-42	23-38	12-21
Bambú	26-43	25-26	20-32
Corona de piña	11-45	14-50	10-30
Cascará de naranja	16,2	13,8	1
Tallo de maíz	50	20	30
Bagazo de plátano	55,65	14	11,58

Fuente: Velandia, K. D., Daza Rey, D., Caballero Amado, P. A., & Martínez González, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel.

6.6.1 Análisis de resultado muestra vegetal

En el estudio de González Velandia⁶⁸, para la elaboración del papel fue determinante conocer las propiedades físicas y químicas de la materia prima a usar, ya que de estas depende directamente la calidad del papel. Las propiedades químicas determinan la calidad de las fibras, es decir la resistencia, flexibilidad, la estabilidad, la adhesión, el color, absorción de los aditivos para transformar la pasta en papel. Por lo anterior se realizó análisis de laboratorio para determinar las propiedades químicas en las cáscaras del maracuyá sus resultados obtenidos fue 12,6% contenido de Lignina, 22,4% contenido de celulosa y 11,4% contenido de hemicelulosa datos obtenidos del Laboratorio Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), podemos deducir que estas propiedades están presentes en un porcentaje adecuado en la materia prima y que son importantes para realizar el proceso de obtención de papel ya que contiene polímeros que es derivada de la celulosa y hemicelulosa y son la ayuda para la formación de la microfibrillas. En la tabla 7 presenta los contenidos de algunas materias primas no maderables y maderables, siendo las maderables las que presentan contenidos más altos, pero indicando que también hay contenidos significativos en otros materiales donde podemos incluir también para obtención de papel las cáscaras del maracuyá. Ver ANEXO E.

6.1.2 Formulación y condiciones de proceso de la elaboración de papel a partir de las cáscaras del maracuyá

Para el arreglo experimental por medio del método Genichi Taguchi, se tuvieron en cuenta variables para determinar las condiciones de trabajo como concentraciones de pulpa (A), temperatura de secado (B) y tiempo de secado (C) que influye directamente en el proceso de elaboración de las hojas.

Tabla 8. Muestras experimentales formulación base.

Niveles	Variables		
	A	B	C
	Concentración de pulpa (g)	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)
1	400	35	7
2	500	40	8
3	600	45	9

Fuente: Autora

⁶⁸ GONZALEZ VELANDIA, et al. Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul* [online]. 2016. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742016000200021&script=sci_abstract&lng=es

Tabla 9. Resultados obtenidos muestras experimentales.

Muestras	Concentración (g)	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)
1	400	35	7
2	400	35	7
3	400	35	7
4	400	35	7
5	400	35	7
6	400	35	7
7	400	35	7
8	400	35	7
9	400	35	7
10	500	40	8
11	500	40	8
12	500	40	8
13	500	40	8
14	500	40	8
15	500	40	8
16	500	40	8
17	500	40	8
18	500	40	8
19	600	45	9
20	600	45	9
21	600	45	9
22	600	45	9
23	600	45	9
24	600	45	9
25	600	45	9
26	600	45	9
27	600	45	9

Fuente: Autora

6.1.2.1 Descripción del resultado muestras experimentales

En la tabla 10 se observa los resultados del comportamiento de las 27 muestras, frente a las variables donde se determinó las condiciones de trabajo en concentraciones de pulpa (A), temperatura de secado (B) y tiempo de secado (C) para la obtención de las hojas.

Tabla 10. Resultados obtenidos parámetros de calidad.

Muestras obtenidas	Concentración en (g)	Temperatura de secado (°C)	tiempo de secado (h)	Resistencia	Humectación	Textura	Color	Facilidad de pliegues	Permite la escritura	Aceptable
9	400	35	7	Malo	Malo	Regular	Bueno	Malo	Regular	No
9	500	40	8	Bueno	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Regular	si
9	600	45	9	Regular	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo	No
27	Total de muestras obtenidas									

Fuente: Autora

6.1.2.2 Descripción de los resultados parámetros de calidad en muestras experimentales

A partir de la formulación base se adecuó las condiciones del proceso de elaboración y obtención de las hojas. En la tabla 10, se observa los resultados obtenidos de las 27 muestras del arreglo experimental, frente a las variables. Se evaluó las características de las hojas, seleccionando 6 parámetros (resistencia, humectación, textura, color, pliegues y escritura) se estableció para los resultados (Malo) que no presenta la característica, (Regular) presenta la características del parámetro pero no en su totalidad y (Bueno) presenta la característica y así definir en cuál condición se presentan mejor las característica de las hojas en cuanto a los parámetros de resistencia, dobleces y estabilidad. En el caso del proceso de 400 gramos a temperatura de secado de 35°C, por 7 horas, no presenta muy buena resistencia se obtiene una hoja muy delgada y frágil, difícil de manipular, aunque su color obtenido fue bueno no es aceptable como producto final. En el caso del proceso obtenido a partir de 500 gramos a temperatura de secado de 40°C por 8 horas, la hoja presenta características interesantes en cuanto la resistencia, dobleces y estabilidad, fácil de manipular buen color, impide un poco la escritura debido a los fragmentos que contiene pero lo hace un material interesante y aceptable en cuanto un papel obtenido a partir de un residuo. En el caso del proceso obtenido a partir de 600 gramos a temperatura de secado de 45°C por 9 horas, presenta características no aceptables debido a que la hoja que se obtuvo fue muy gruesa, quebradiza, difícil de manipular para dobleces, impide la escritura debido a los fragmentos grandes, esto se debe sobre todo a que las fibras que se asentaron sobre el bastidor lo hicieron de una manera desordenada, haciéndolo primero las más finas y luego las más gruesas es por esta razón, las hojas fueron gruesas y quebradizas.

6.1.2.3 Matriz ortogonal experimental.

Se realizó el arreglo experimental por medio del método Genichi Taguchi, a través de Software Minitab. 15 para determinar los mejores resultados y condiciones de trabajo de las concentraciones, temperatura de secado y tiempo de secado.

Tabla 11. Resultados de matriz ortogonal \square_{27} .

M	A	B	C
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	2	2
5	1	2	2
6	1	2	2
7	1	3	3
8	1	3	3
9	1	3	3
10	2	1	2
11	2	1	2
12	2	1	2
13	2	2	3
14	2	2	3
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	1
18	2	3	1
19	3	1	3
20	3	1	3
21	3	1	3
22	3	2	1
23	3	2	1
24	3	2	1
25	3	3	2
26	3	3	2
27	3	3	2

Fuente: Software Minitab. 15

Ver ANEXO A, B, C y D.

La matriz ortogonal representada, es una matriz con un diseño especial representando por una notación de Taguchi realizado mediante Software Minitab. 15.

$$\square_{27} = (3)^3 = 27$$

Donde nos especifica que con este diseño se obtiene un resultado de un \square_{27} ($3 * 3$) el cual nos indica que en la tabla encontramos un diseño con 27 corridas, 3 factores con 3

niveles. En los resultados de análisis de varianza de las muestras, esta matriz obedece a 18 grados de libertad (9+3+3+3) al existir una interacción construida entre las columnas 1(A), 2(B) y 3(C).

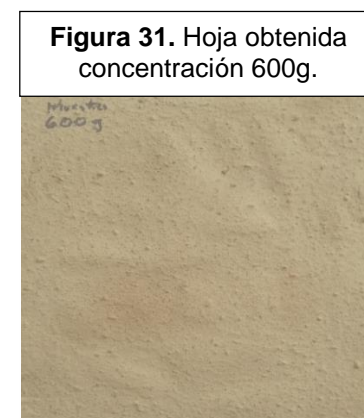
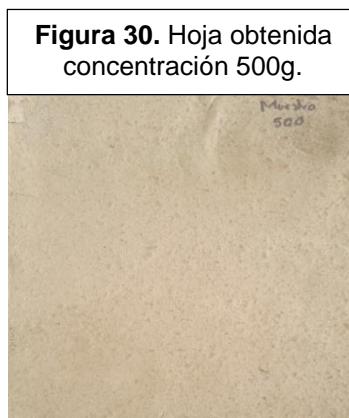
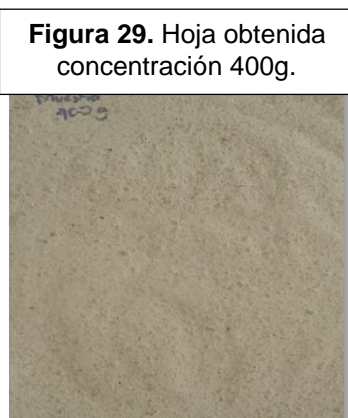
6.1.2.4 Análisis de resultado diseño experimental

Con base en el arreglo experimental los resultados variaron de diferentes maneras, se concluye que los mejores resultados obtenidos para trabajar como formulación (producto final) es la concentración de 500 gramos, temperatura de secado 40°C por 8 horas, según sus parámetros de calidad, la hoja presenta características interesantes de resistencia, dobleces y estabilidad, fácil de manipular un material interesante y aceptable en cuanto un papel obtenido a partir de un residuo. De acuerdo a lo anterior la formulación asignada como producto final se determinara las propiedades fisicoquímicas como (%humedad, gramaje, resistencia del producto, absorción, color, textura y apariencia) para evaluar a través de proceso tecnificado la calidad del producto.

Muestras experimentales obtenidas:



Fuente: Autora



Fuente: Autora

6.1.2.5 Caracterización de materia prima

Se seleccionaron cáscaras de maracuyá teniendo presente lo señalado en la metodología para las 27 muestras se dividió en 3 partes el proceso cada proceso de 9 muestras.

Tabla 12. Materia prima utilizada en el proceso de obtención de las hojas.

Concentración Pulpa- Tanque (g)	Cáscara de maracuyá (g)	Total Cáscaras (g)	Cantidad de Agua (Lt)	Total de Agua (Lt)
400	300 * 9 (muestras)	2700	1 * 9 (muestras)	9
500	500 * 9 (muestras)	4500	1 * 9 (muestras)	9
600	700 * 9 (muestras)	6300	1 * 9 (muestras)	9
		13500		27

Fuente: Autora.

Nota:

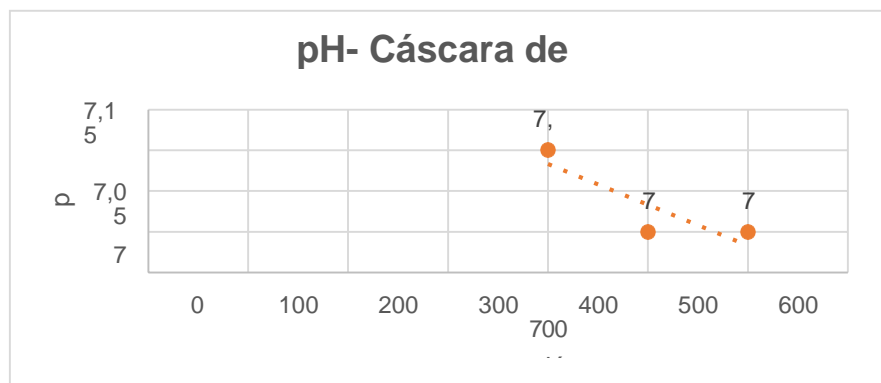
Para todas las muestras se trabajó en total con 13500 g de cáscara de maracuyá y 27 litros de agua. Se realizó la caracterización de las cáscaras del maracuyá y en pulpa para proceso de elaboración.

Tabla 13. Caracterización del pH de las cáscaras del maracuyá, y en pulpa-tanque.

Concentración Pulpa- Tanque (g)	pH- Cáscara de maracuyá	pH-pulpa-tanque
400	7,1	7
500	7	6.5
600	7	6.4

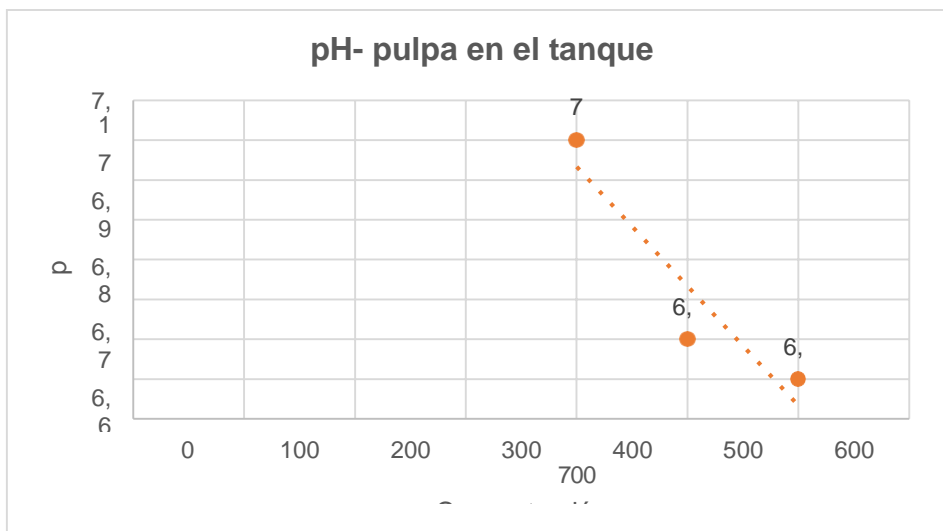
Fuente: Autor

Grafica 1. pH - Cáscara en función de la concentración.



Fuente: Autora

Grafica 2. pH – pulpa en el tanque en función de la concentración.



Fuente: Autora

6.1.2.6 Análisis de resultado de la caracterización

En el proceso de obtención de la hoja se llevó a cabo la caracterización de pH de la materia prima en puro y transformada, fue tomada por un medidor pH-metro digital ATC. Los resultados del pH en el proceso de transformación de la cáscara en pulpa vario en todas las muestras debido a que para el proceso de obtención de la hoja se debe utilizar una mezcla homogénea agregando agua y por tal el pH tiende a disminuir, la disolución en este proceso se considera neutra en todas las concentraciones lo que quiere decir que con este resultados se puede evitar el crecimiento de hongos y moho sobre la superficie del material debido a la presencia de hemicelulosa.

Figura 32. Caracterización pH.



Fuente: Autora

6.2 SECCIÓN 2

En esta sección se describe los resultados de las propiedades físicas y químicas de producto final (humedad, resistencia, absorción, color, textura y apariencia).

6.2.1 Proceso de secado (Humedad)

Para el proceso de secado de la hoja se realiza control de % de humedad por el método de convección (evaporización). La humedad se presenta en este producto como solución líquida que requirió ser retirado casi en su totalidad para obtener un producto seco. El objetivo de este proceso fue la eliminación de sustancias volátiles, por medio de una corriente de aire a una alta temperatura forzado por un ventilador, con una velocidad de paso por segundos este control se realiza a través del horno convectivo. Una de las finalidades de esta prueba de secado en el laboratorio fue obtener un producto final con las mejores características sensoriales y visuales en cuanto (apariencia, textura, color).

Tabla 14. Descripción del peso en el proceso de secado

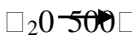
Descripción	Peso (g)	Observación
Bastidor	200	Formar hoja
Pulpa de proceso	1500	3 muestras de 500g de pulpa
Agua	3000	Utilizada en el proceso de desintegración de la cáscara en el molino y para el tanque para obtener mezcla homogénea entre la pulpa y el agua para formación de hoja.
Bandeja metálica del horno	300	Secado en el horno

Fuente: Autora

Tabla 15. Peso total de muestras en la balanza para el proceso de secado.

Bandeja (horno)	Bastidor (g)	Pulpa (g)	Bandeja (g)	Agua en el material (g)	Total (g)
1	200	500	300	100	1100
2	200	500	300	100	1100
3	200	500	300	100	1100
Total	600	1500	600	300	3300

Fuente: Autora

Nota: Se utiliza 1000g de  donde el agua en el proceso de escurrido es medida en un vaso precipitado para observar la cantidad de agua que queda depositada en el material en este caso fue de 100g el restante fue el sobrante.

Para el proceso de determinación de la humedad se debe trabajar con las cantidades exactas del material a secar para los datos es decir:

Masa total a secar:

$$\square_{\text{||||}} = \square\square\square\square + \square\square\square\square\square\square\square\square$$

$$1 \text{ gross} = 1500 \text{ } \square + 300 \text{ } \square = 1800 \text{ } \square$$

Masa de sustancia sólida en estado puro = 1500 □

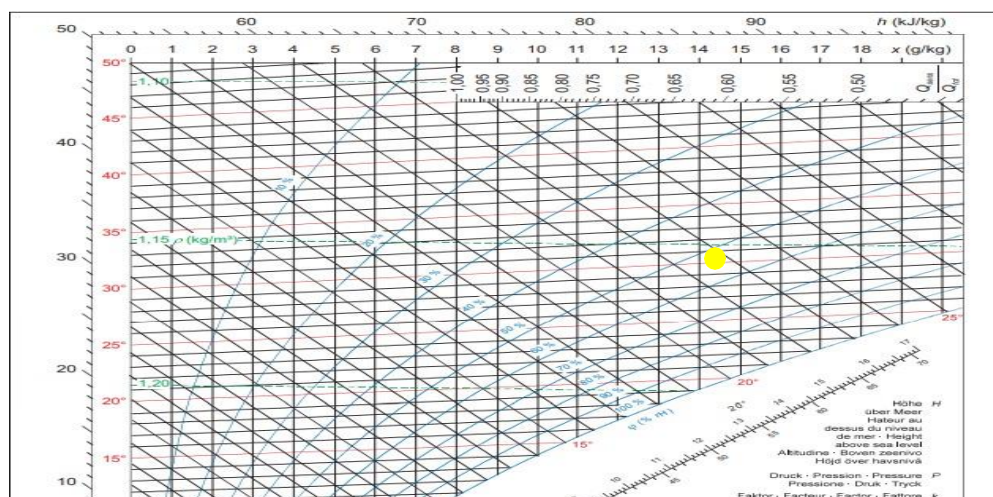
Inicialmente se precisaron los rangos óptimos de las condiciones de trabajo del secador, como son: temperatura, la humedad relativa, velocidad del aire (termoanemómetro), el tamaño del caudal del secador, la presión, la entalpia y la carga en relación de la masa se dedujeron datos que se emplearon para hacer balances de calor, así como para estimar las velocidades de desecación y el comportamiento de los coeficientes de transmisión de calor.

Tabla 16. Datos arrojados del secador (inicio).

T °C	Humedad relativa del aire □ % □. □	Presión (atm) medida en bares	Entalpia h	Velocidad aire m/s(canal)	Densidad □	Carga x Relación en masa	Medidas Canal del equipo
40	30	1atm 1,013 bar	86 □□/□□	0,67	1,12 kg/□ ³	14,1 kg/□ ³	Ancho= 390 mm Altura= 390 mm

Fuente: Autora

Figura 33. Diagrama de Mollier h-x (aire húmedo).



Fuente: (G.U.N.T Gerätebau GmbH, Hanskampring 2019).

Nota: Datos iniciales a trabajar en el proceso de secado son hallados a partir de Diagrama de Mollier h-x para aire húmedo.

6.2.2.1 Determinación de la disminución del peso y de la velocidad de secado por el tiempo.

A partir de los valores de contenidos de humedad de las respectivas series de mediciones se obtiene la velocidad de secado media (v) para el respectivo intervalo de tiempo de secado, la velocidad de secado (v) resulta de la variación del contenido de humedad V del material a secar en el espacio de tiempo considerado. Para el análisis y el trazado del diagrama se tiene que determinar el contenido de humedad del material a secar durante el ensayo. El contenido de humedad se determina por medición de la masa del material a secar:

$$v = \frac{m_{\text{total}}}{m_{\text{seco}}} = \frac{m - m_{\text{seco}}}{m_{\text{seco}}} = \frac{(\%) \text{ humedad}}{(\%) \text{ humedad} \times m_{\text{seco}}}$$

Donde:

m = Masa total a secar

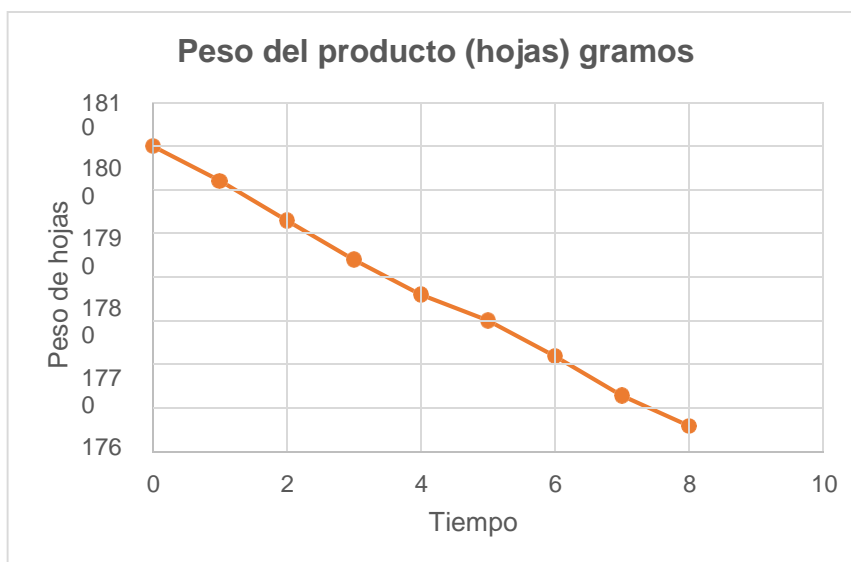
m_{seco} = Masa de sustancia sólida en estado puro

Tabla 17. Datos obtenidos del peso del producto en tiempo (h).

Temperatura °C	Tiempo (h)	Peso de las hojas (gramos)
40	0	1800
	1	1792,08
	2	1783,01
	3	1774,02
	4	1766,04
	5	1760,12
	6	1752,02
	7	1743
	8	1736,08

Fuente: Autora

Grafica 3. Comportamiento del peso del material Vs tiempo de secado.



Fuente: Autora

6.2.2.2 Análisis de resultado del comportamiento del peso del material con el tiempo de secado

De estos resultados obtenidos se determina los contenidos de humedad dentro del material en el proceso de secado. Los datos de la tabla 17 representados, se puede observar la variación del peso de la muestra a secar con respecto al parámetro tiempo (horas), y temperatura de 40 °C, inicialmente tiene un peso de 1800 g, la cual se redujo hasta 1792,08g en la primera hora, como es lógico aseverar, a medida que transcurre el proceso de secado va disminuyendo el peso de la muestra y es así como se observa que a las 7 horas restantes redujo en su totalidad hasta 1736,08 g, la pérdida del peso es más pronunciada lo que concuerda con las teoría del secado descritos en la parte de este trabajo, se puede decir que el peso disminuye por efecto de la evaporación del agua, durante el tratamiento calórico.

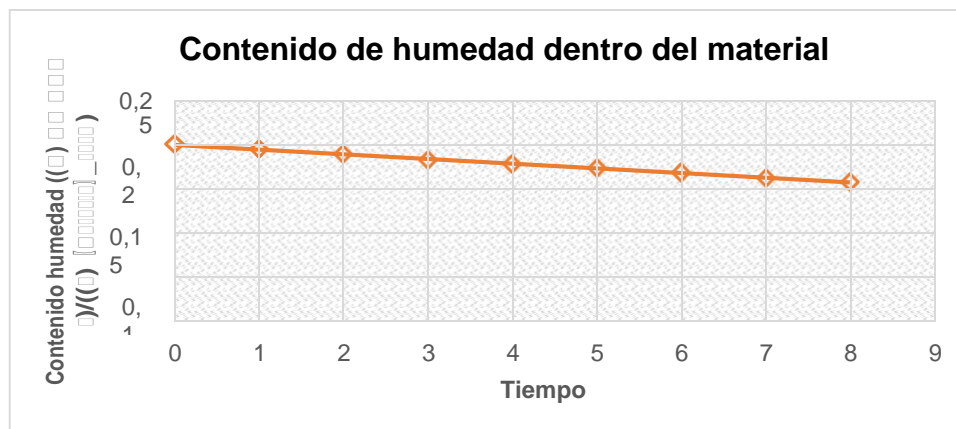
Tabla 18. Contenido de humedad del material.

Temperatura °C	Tiempo (h)	Peso de las hojas (gramos)	Variación de masa	Contenido de húmeda
40	0	1800	300	0,2
	1	1792,08	292,08	0,19472
	2	1783,01	283,01	0,188673333
	3	1774,02	274,02	0,18268
	4	1766,04	266,04	0,17736

	5	1760,12	260,12	0,173413333
	6	1752,02	252,02	0,168013333
	7	1743	243	0,162
	8	1736,08	236,08	0,157386667

Fuente: Autora

Grafica 4. Comportamiento de la humedad dentro del material Vs tiempo de secado.



Fuente: Autora

6.2.2.3 Análisis del resultado del comportamiento de humedad del material con el tiempo de secado

La humedad en base seca varió desde un valor inicial 0,2 hasta valor final de 0,157 Kg de agua/Kg ms, por un tiempo de 8 horas valores decrecientes según Izquierdo & Rúa, (2000) afirman que este comportamiento se debe que al deshidratar un producto húmedo con aire caliente, éste último entrega el calor sensible y el calor latente de evaporación de la humedad actuando como gas portador y así mismo eliminar el agua que se forma en la zona adyacente de la superficie de evaporación.

La velocidad de secado (v) se determina a través de la siguiente fórmula:

$$(v) = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{V_0 - V_{t+1}}{t_{t+1} - t_0} = \frac{(\text{kg}) \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}}{(\text{s}) \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}} * h$$

Variación de masa en (g) por el intervalo del tiempo:

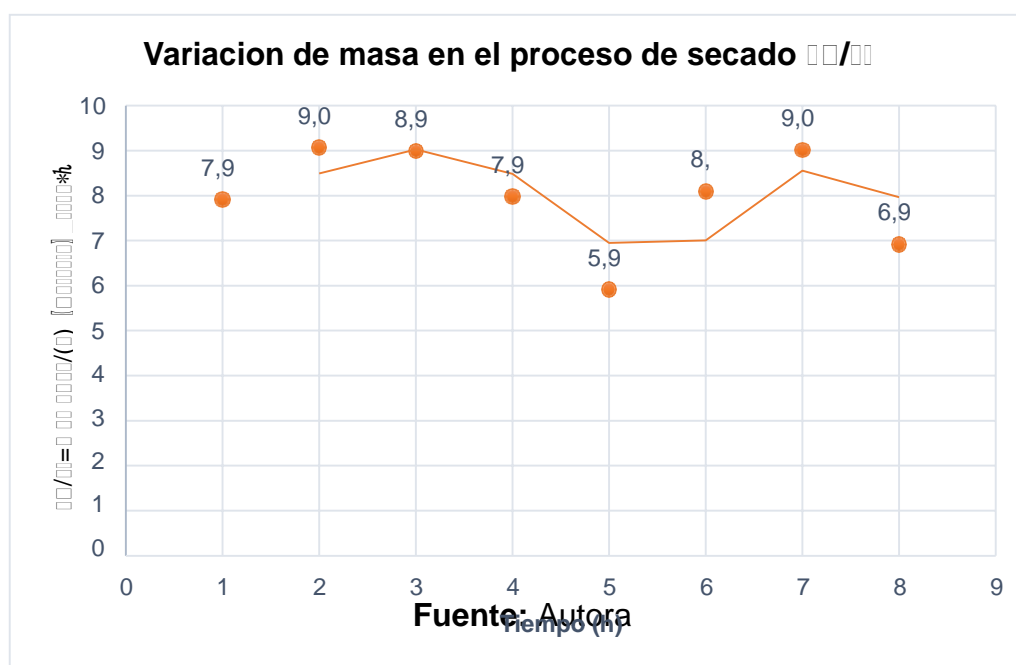
$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = m * \Delta t = m / \Delta t * h$$

Tabla 19. Velocidades de secado interno del material y variación de masa por hora.

Tiempo (1 h)	Velocidad de secado	Variación de masa con la velocidad de secado
V=0,1	0,00528	7,92
V=1,2	0,00604667	9,07
V=2,3	0,00599333	8,99
V=3,4	0,00532	7,98
V=4,5	0,00394667	5,92
V=5,6	0,0054	8,1
V=6,7	0,00601333	9,02
V=7,8	0,00461333	6,92
Total		63,92

Fuente: Autora

Gráfica 5. Variación de masa del material en el proceso de secado



6.2.2.4 Análisis de resultado del comportamiento de la velocidad de secado interno del material y variación de masa por hora.

Los datos fueron tomados por hora, en la gráfica 5 se observa que hubo variación en los resultados. En esta etapa de secado se lleva a cabo la difusión del vapor a través de aire/humedad y la velocidad presentada por difusión es eliminada. Basándome en el

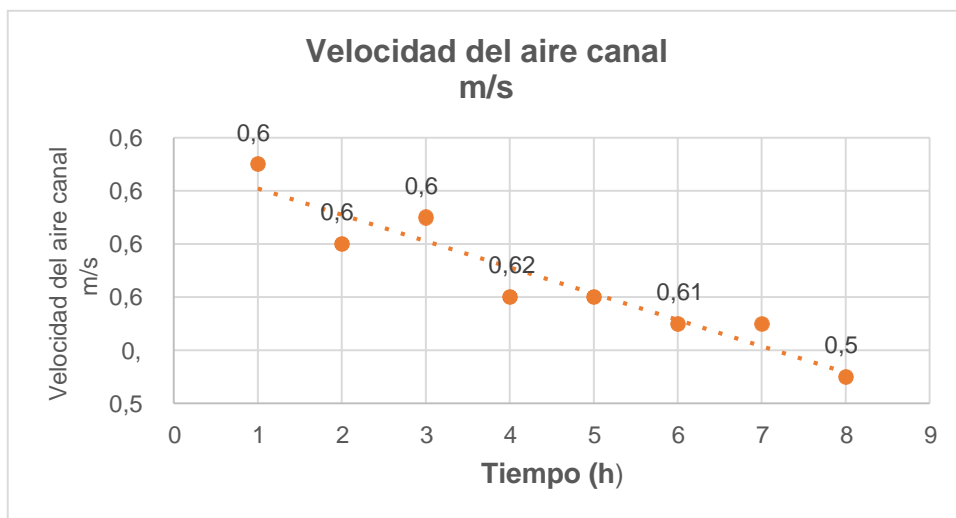
estudio y resultados Izquierdo & Rúa (2000) puedo afirmar que la masa de agua en la muestra presentó una reducción del 60% de agua dentro del material durante el proceso, de secado en 8 horas. Lo cual me indica que este proceso que se aplica en el material (hoja) obtengo un producto seco.

Tabla 20. Velocidad del flujo del aire caliente.

Tiempo secado (h)	Temperatura °C	Velocidad del aire canal m/s
1	40	0,67
2	40	0,64
3	40	0,65
4	40	0,62
5	40	0,62
6	40	0,61
7	40	0,61
8	40	0,59

Fuente: Autora

Grafica 6. Comportamiento de la Velocidad del aire del canal en el proceso de secado.



Fuente: Autora

- Velocidad del aire del flujo por el canal

Se realiza control por hora de la velocidad del flujo del aire caliente en el proceso de secado, los datos arrojados se tomaron con un termoanemómetro digital con termómetro de marca CEM referencia DT-8894 con una temperatura constante de 40°C con una velocidad de flujo de aire inicial de 0,67 m/s y final de 0,59 m/s.

- Caudal volumétrico de aire Q_v en m^3/h

$$Q_v = v \cdot A \cdot \frac{3600}{1 h}$$

$$Q_v = 0,67 \frac{m}{s} \cdot 0,15^2 \frac{m^2}{1} \cdot \frac{3600}{1 h} = 361,8 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_v = 0,59 \frac{m}{s} \cdot 0,15^2 \frac{m^2}{1} \cdot \frac{3600}{1 h} = 318,6 \frac{m^3}{h}$$

Donde:

v = Velocidad del aire en m/s = 0,67 m/s inicial, 0,59 m/s final (velocidad tomada con termoanemómetro digital).

Medidas canal del equipo:

Ancho = 390 mm = 0,39 m

Altura = 390 mm = 0,39 m

Sección transversal del canal de secado A en m^2

$$A = v \cdot \pi$$

$$A = 0,39^2 \frac{m^2}{1} \cdot \pi = 0,475 \frac{m^2}{1}$$

$$A = 0,39^2 \frac{m^2}{1} \cdot \pi = 0,475 \frac{m^2}{1}$$

Nota: La temperatura de flujo de aire caliente permanece constante 40°C

Figura 34. Termoanemómetro digital con termómetro de marca CEM referencia DT-8894.



Fuente: Autora

- Comportamiento de la velocidad del aire caliente por el canal:

Como la concentración de la humedad disminuye por el secado del material interno, también la velocidad de movimiento por el canal disminuye. Esto se debe a que el promedio de humedad en el material interno se reduce a través del tiempo que se esté manejando durante el secado por eso es su comportamiento decreciente.

6.2.2.5 Análisis de resultado proceso de secado para obtención de la hoja

Inicialmente se estabiliza el equipo para el proceso de secado en temperatura, humedad relativa y humedad del aire para todo el proceso, por medio del diagrama de Mollier como medio auxiliar de la parte operacional del equipo contempla el estado del aire de secado y las condiciones en el proceso. Por la variación de los resultados de la velocidad del aire y el comportamiento de masa interno en el material se pudieron determinar en los ensayos, distintos desarrollos del secado trabajando con un solo tipo de material a secar. En el secado provisto de material a secar seco, se precalentó hasta que se estableció un estado estacionario. La balanza se taró con material a secar pulpa de 1500 g y se añadió al material la masa de agua definida (300 g). Se observa, tras introducir el material a secar húmedo comienza inmediatamente una disminución uniforme de la masa del material a secar (disminución de peso), directamente después de introducir el material a secar húmedo, la temperatura del aire del material a secar pasa a estado de evaporación, la temperatura en el proceso de secado permanece constante de 40°C, el comportamiento inestable de la tasa de evaporación (variación de masa en el proceso de secado $\frac{g}{h}$) es el resultado de la influencia que ejerce la corriente de aire sobre la balanza a través de las bandejas de secado (absorción del agua del material por el calor).

6.2.3 Determinación del gramaje en el material obtenido

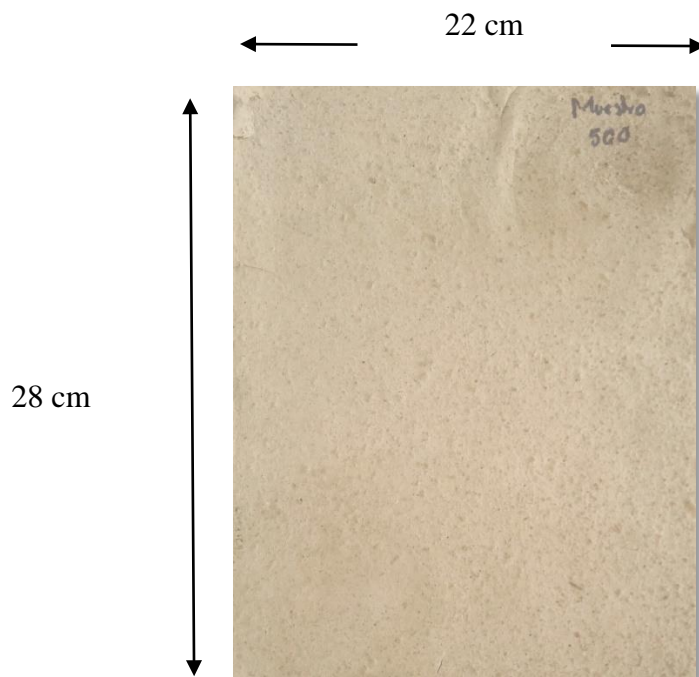
En el proceso de obtención de la hoja es muy importante determinar su gramaje la cual se obtiene dividiendo el peso final de la hoja y el producto del ancho y largo (área de la hoja), el resultado obtenido de la hoja elaborada a partir de la cáscara del maracuyá se tiene en cuenta ya que este define el uso a que se va a destinar el material dando como resultado su capacidad de resistencia.

Tabla 21. Resultado del gramaje en la hoja.

Hoja obtenida a partir de la cáscara del maracuyá	Peso final de la hoja (g)	Área de la hoja (cm ²)
	17	0,06

Fuente: Autora

Figura 35. Determinación del gramaje de la hoja



Fuente: Autora

$$\text{Gramaje} = (\text{Peso en g} \times 1000) / \text{Área en cm}^2 = 283 \text{ g/cm}^2$$

El gramaje para papel se clasifica⁶⁹:

- $150 \text{ g/cm}^2 <$ Material obtenido apto para documentos internos, área de color ideal para escritura, impresión y color por inyección de tinta.
- $150 - 250 \text{ g/cm}^2$ Material tipo cartulina es un papel que puede ser utilizado para realizar invitaciones y tarjetería.
- $250 - 650 \text{ g/cm}^2$ Material tipo cartulina cartón paja, es un papel rígido puede ser utilizado para dibujo o invitaciones o tarjetería.
- $650 \text{ g/cm}^2 >$ Material rígido grueso (cartón) es utilizado para tarjetería o envolturas.

6.2.3.1 Análisis de resultado del gramaje

El gramaje de un papel se define como el peso de un metro cuadrado del papel, por lo tanto se mide en g/cm^2 . Se obtuvo un material rígido de gramaje 283 g/cm^2 con

⁶⁹ PRELO. Tipos de papel grosores y gramajes, 2017. Disponible en: <https://www.prelo.es/ampliar/202/Tipos-de-papel.html>

características interesantes, según su clasificación podría ser utilizado como elemento decorativo para bolsas, papel especial para pintar sobre el con óleo o acrílico y tarjetería. Este material debido a que contiene fragmentos grandes de materia prima, impide la impresión.

El resultado obtenido del gramaje a comparación de una hoja normal para escritura en el estudio de Hernández Ortega, comenta que el gramaje del papel elaborado a partir de la fibra de la corona de piña en su totalidad se obtiene un papel fino con gramaje <150, debido a que el proceso de elaboración paso por etapa de refinación de la pulpa y blanqueo. De igual forma es importante que para la propiedad de espesor y de gramaje se pueda manipular de acuerdo a la cantidad de pulpa utilizada al momento de realizar la formación de la hoja. La cual podemos concluir que es posible que se pueda obtener hojas finas a partir del uso de las cáscaras del maracuyá pasando por un proceso de refinación de la pulpa evitando así que se obtengan hojas con fragmentos grandes⁷⁰.

6.2.4 Resistencia de la hoja

$$\frac{CR}{2P} = \frac{2P}{D}$$

Dónde:

CR = Coeficiente de rigidez

2P = Dos veces el espesor de la pared celular

D = Diámetro total de la hoja

Tabla 22. Clasificación para el coeficiente de rigidez.

RANGO	GLOSOR DE PARED
Mayores de 0,70	Muy gruesa
0,70 a 0,50	Gruesa
0,50 a 0,35	Media
0,35 a 0,20	Delgada
Menor de 0,20	Muy delgada

Fuente: Hernández Ortega, M., (2008). Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña *Ananás comosus* (L.) Merr. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, México

⁷⁰ HERNANDEZ ORTEGA, Maricela. Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña *Ananas comosus* (L.) Merr. Chapingo-México, 2008.

6.2.4.1 Análisis de resultado resistencia de la hoja

Para medir el grosor de la hoja de papel se utilizó calibre pie de rey universal, se midió varias hojas obtenidas posteriormente el grosor de una hoja dividiendo el valor obtenido entre el número de hojas.

Se obtuvo como resultado 9 hojas con un resultado de grosor de 0,098 mm y un grosor de 0,15 mm siendo el valor del diámetro total de la hoja.

$$\square\square = \frac{2\square}{\square}$$

$$\square\square = \square, \square\square$$

Según la clasificación para el coeficiente de rigidez se encuentra entre el rango de 0,50-0,70 teniendo como resultado CR de 0,65 grosor de pared gruesa.

Hernández Ortega, señala que las fibras de pared delgada tienden a colapsarse tomando forma de listones estructurales durante el pulpeo y la formación de la hoja, por otro lado el mismo autor señala que las fibras de pared gruesa se mantienen rígidas, no se colapsan, aunque tienen muy poca superficie de contacto la unión de fibra a fibra es regular, por lo que el papel fabricado con fibras de pared gruesa es de baja resistencia, pero voluminoso por lo anterior, el papel elaborado con cáscaras de maracuyá, va tener estas cualidades ya que se obtuvo hojas de fibra de pared gruesa. El autor señala que este tipo de papel obtenido se podría utilizar como papel para envoltura para frutas y verduras, para dulces, entre otros; además sus propiedades lo hacen un papel útil y al no ser sometido a ninguna etapa de blanqueo y por su aspecto puede ser utilizado para dibujo y artesanías.

6.2.5 Prueba de absorción de la hoja

Se pesó 10g de muestra y en un Beaker de 1000 ml con 800ml de agua a 35°C se dejó caer la muestra sobre el Beaker y se midió el tiempo en el que alcanza el fondo del recipiente.

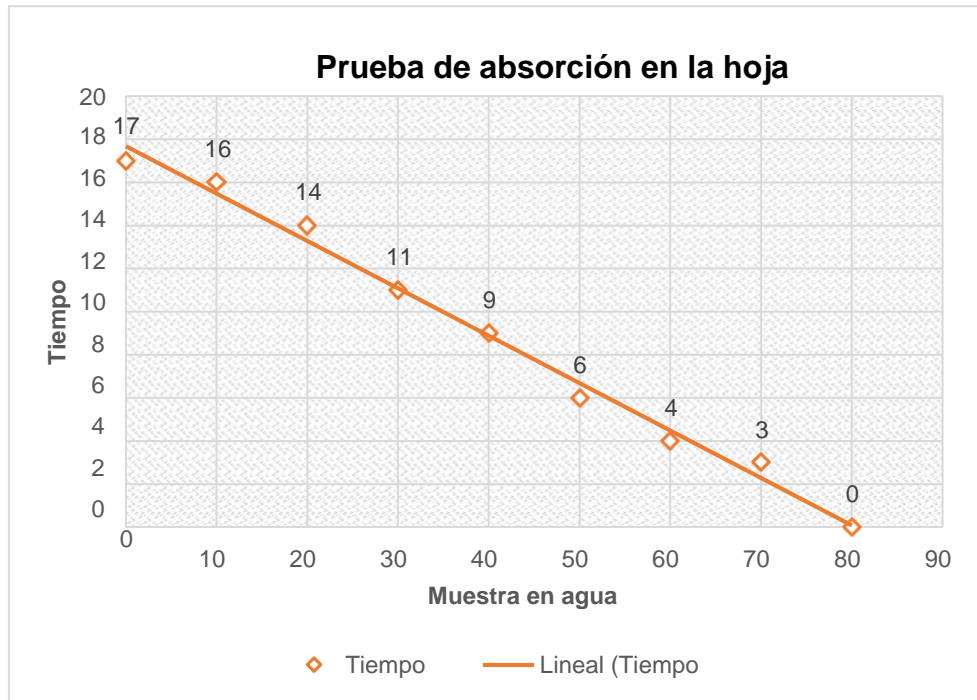
Tabla 23. Resultado prueba de absorción de la hoja.

Muestra en agua (ml)	Tiempo (s)
800	0
700	3
600	4
500	6
400	9

300	11
200	14
100	16
0	17

Fuente: Autora

Grafica 7. Prueba de absorción de agua en la hoja.



Fuente: Autora

6.2.5.1 Análisis de Resultado prueba de absorción en la hoja

La prueba de absorción se realizó midiendo el tiempo de caída de la muestra sobre el agua hasta la superficie del vaso. El resultado del tiempo medido fue de 17 segundos lo quiere decir que la hoja requiere que se aplique humectantes, para garantizar que el material obtenido tenga una vida útil más prolongada.

6.2.6 Determinación de color

Figura 36. Determinación color de la hoja.



Fuente: Autora

6.2.6.1 Análisis de Resultado determinación de color de la hoja

Cabe aclarar que no fueron sometidas a ninguna etapa de blanqueo se obtuvo hojas de color ocre café.

El color que se obtuvo se debe al contenido de lignina que contiene la materia prima que fue utilizada para su elaboración (cáscaras de maracuyá) aunque en su proceso de transformación se trató de eliminar la mayoría de lignina de las cáscaras no se logró en su totalidad.

6.2.7 Textura y apariencia

Proceso de obtención de la hoja se obtuvo un material rígido con características interesante que podrían ser utilizados como elemento decorativo para bolsas y como papel especial para pintar. Este material debido a que contiene fragmentos grandes de materia prima, impide la impresión

6.3 SECCIÓN 3

En esta sección se realiza análisis sobre costos de operación para obtener papel a partir de las cáscaras del maracuyá.

6.3.1 Costos de los equipos requeridos para el proceso de elaboración de papel

Con el fin de adecuar una planta piloto para el proceso de obtención de papel tecnificado a partir de un residuo (cáscara del maracuyá), es importante saber en cuanto oscila la inversión inicial en equipos para la planta y los equipos que determinan el control de calidad del producto.

Tabla 24. Costos de los equipos requeridos para el proceso de obtención de papel.

Equipos requeridos	Referencia	Capacidad	Descripción	Precio (oscila) en el mercado
Molino industrial	Molino de Nixtamal Modelo SP-2. Motor de 20 HP.	600-700 Kg. de masa por hora	Construido en acero inoxidable especial para alimentos tiene un alimentador automático de gran capacidad. El Eje principal es de 2" montado en rodamientos reforzados para materia prima pesada.	\$ 8,000.000
Picadora industrial	Marca: Exhibir Procesador de vegetales industrial trabajo pesado	Capacidad: 500 a 1000 kg/h.	Máquina para corte de desde 3 hasta 15 milímetros, para cada medida. Contiene diferentes tipos de discos de corte. Potencia: 750 vatios Voltaje: 110 o 220 voltios	\$ 1,600.000
Autoclave eléctrica a vapor en forma de olla	Marca: J-ROHI INGENIERIA S.A.S R- 113	40 litros	Máquina en acero inoxidable con profundidad de 36 cm, potencia de 1650 W y voltaje de 120	\$ 90,000.000
Máquina para papel plano	MOD MP275	Ancho del rollo de papel: 260-720 mm	Máquina para la producción de hojas papel con fondo plano, gramaje de papel hasta de 150 g/m2, y consumo eléctrico de 10kW.	\$360,000.000
Máquinas de filtros	Marca: Shuangjia	Apto para cualquier volumen de trabajo	Máquina de alimentación automática, corte automático y calefacción Voltaje: 380 V. Potencia del Motor: 2.1kW/h	\$ 60,000.000
Secador de banda	Marca: Stela	Apto para cualquier volumen de trabajo.	Capacidad de evaporación de agua de	\$180,000.000

			100 kg/h hasta 25 000 kg/h. Consumo específico de energía térmica a partir de 0,7 kW/h por kg/H ₂ O. Consumo específico de energía eléctrica a partir de 0,05 kW/h por kg/H ₂ O.	
Duchas de alta presión (retiro de lignina)	Marca:Aoptieng	Presión de 10 a 60 bar.	Flujo de agua óptimo Construcción interna con apoyo sobre rodamientos Sistema de cepillado manual o automática.	\$300,000.000
Enrolladora y empacadora	Marca: Qunfeng Ref: FDY-850	50 rollos/mes	Apoyo sobre rodamientos.	\$ 50,000.000
Total de inversión				\$1,049,600.000
Equipos para control de Calidad	Referencia	Rango y capacidad	Descripción	Precio en el mercado
pH- metros	Marca: SmartSensor AS218	0,00 ~ 14.00 pH	Medidor de sensor	\$ 1,500.000
Horno Convectivo determinación de humedad	Marca G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Barsbüttel, Alemania. Ref CE 130	8000kg	El equipo sirve para secar materiales sólidos por convección.	\$60,000.000
Desecador infrarrojo	Marca: Vibratory Dryer Ref: RD30	Capacidad máxima: 8 kg	El secado por infrarrojo para muestras sensibles y secadas rápidamente.	\$ 5,000.000
Calibrador	Marca: Wood Tool & Deco	0-100 mm, 0-4 pulgadas.	Calibrador digital de compuestos de fibra de carbono.	\$ 600,000
Texturómetro	Marca: BROOKFIELD Ref: CT3-1500GR	10kg / 1-10000 g / 1,0 g / ±50 g	Perfil de textura. Comprobación de carga estática / calibración.	\$ 6,000.000
Termómetro	Marca: Tasi Modelo Tasi 8602	Rango de temperatura: - 42+550°C Unidad en: °C/°F	Medidor digital	\$ 300,000

Total de inversión				\$73,400.000
Total de inversión entre equipos para el proceso y equipos de control de calidad				\$1,123.000.000

Fuente: Autora.

En la tabla 24 describe los precios de los equipos necesarios para una planta piloto para obtención de papel lo cual me arroja como dato que consta de una inversión inicial en equipos de **\$1,123.000.000**.

6.3.2 Costos de producción a partir de residuo

Para la obtención de papel tenemos que nuestra principal fuente de materia prima es la cáscara del maracuyá procesada para obtener fibra. Se toma como base para el análisis de costos la cantidad se produce industrialmente en Colombia según la ANDI son de 133,083 Toneladas por mes y se realizó comparación de cuanto equivale el costo de una producción con residuo (cáscaras del maracuyá).

Tabla 25. Costos de producción a partir de residuo (cáscaras del maracuyá).

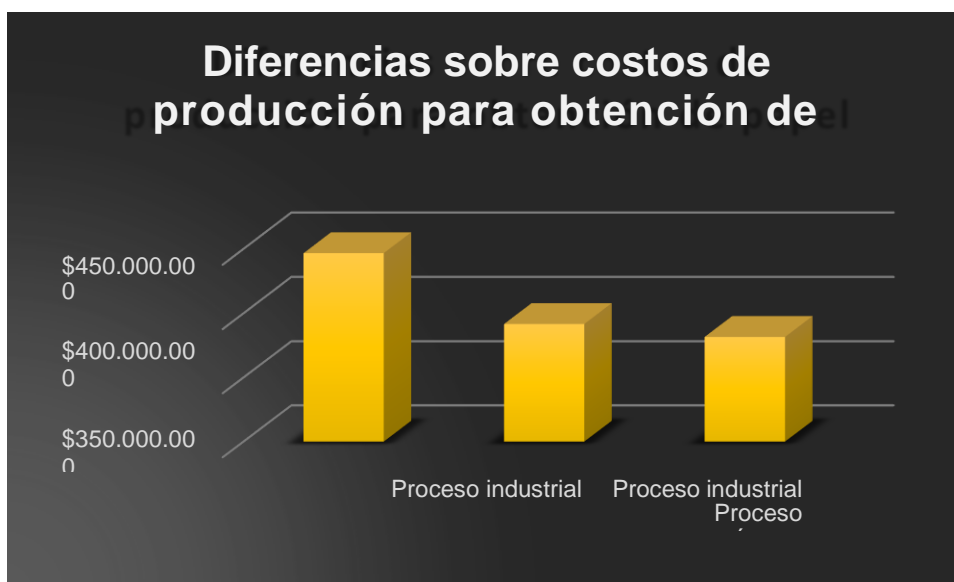
Costos Variables			
Materia prima/mes	Celulosa/fibra		Se obtiene de lugares donde se realizan procesos de transformación de Maracuyá y se obtiene las cáscaras como residuo. \$ 80,000,000
	Reactivos	Peróxido de hidrogeno	
		Sulfuro de Sodio	
		Blanqueadores	
		Hidróxido de sodio	
Servicios/mes	Energia consumó en kW/h		\$ 185,960.542
	Agua m³		
Total	\$ 265,960.542		
Costos Fijos			
Amortizaciones	Mantenimiento Maquinas		\$ 45,741.836
	Inmueble		

Salarios/mes	Salario operadores	\$ 70,000.000
	Salario administradores	
	Transporte de materia prima	
Costos Totales		\$381,702.378

Fuente: Autora

6.3.2.1 Análisis de resultado de costos de producción para obtener papel a partir de las cáscaras del maracuyá

Grafica 8. Diferencias sobre costos de producción para obtención de papel



Fuente: Autora

Las empresas de la industria papelera su factor en costos de producción es la celulosa/fibra, la cual es la principal fuente para el proceso de obtención de papel, la mayoría de empresas compran la fibra/celulosa que son provenientes de árboles, bagazo de caña y del vástago del plátano, que equivale a un costo mensual para su producción. Según la Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón (ANDI), para el proceso de obtención de papel industrialmente entre costos variables y costos fijos por el método mecánico es de **\$ 391,744,214** y por el método de Kraft de **\$446,744.214** donde incluye materia prima, reactivos, servicios, amortizaciones y salarios para obtener una producción de 133,083 Toneladas/mes, realizando el análisis y comparación de cuánto cuesta una producción de papel a partir de residuos (cáscaras del maracuyá) hay una diferencia significativa nos arroja como resultado una inversión de **\$381,702.378** debido a que la materia prima principal se puede obtener con facilidad ya que se realiza un aprovechamiento de un subproducto obteniendo fibra/celulosa que no tiene ningún costo se obtiene con facilidad y es principal fuente en el proceso de elaboración y obtención de papel.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

La caracterización química en las cáscaras del maracuyá revelo resultados de contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, la cual podemos deducir que estas propiedades están presentes en un porcentaje adecuado en esta materia prima y que son importantes para el proceso de obtención de papel.

Por medio del arreglo experimental método Genichi Taguchi, se lograron trabajar variables para determinar las condiciones de trabajo como concentraciones de pulpa, temperatura de y tiempo de secado que influyen directamente en el proceso de elaboración de las hojas, se estableció formulación base se seleccionó el resultado que más se ajustaba a los parámetros de proceso de obtención de papel. Como resultado se obtuvo un material a una concentración de 500 g, con temperatura de 40°C y un tiempo secado de 8 horas el peso final de hoja fue de 17 g, con medidas de 22 x 28 cm y área de 0,06 m².

Se determinó los contenidos de humedad dentro del material en el proceso de secado. Los datos obtenidos se pudo observar la variación del peso de la muestra a secar con respecto al parámetro tiempo (horas), a temperatura de 40 °C, la pérdida del peso fue pronunciada, y representa una disminución uniforme de la masa del material, el comportamiento fue inestable de la tasa de evaporación (variación de masa en el proceso de secado) presentándose como resultado de la influencia que ejerce la corriente de aire sobre la balanza a través de las bandejas de secado (absorción del agua del material por el calor), la masa de agua en la muestra presentó una reducción del 60% de agua obteniendo un producto seco.

El gramaje de la hoja fue de 283 g/m², se obtuvo un material rígido, con características interesante para ser utilizado como elemento decorativo para bolsas, papel especial para pintar sobre el con óleo o acrílico y tarjetería.

Según la clasificación para el coeficiente de rigidez la hoja que se obtuvo fue de grosor de pared gruesa.

En la prueba de absorción la hoja requiere que se aplique humectantes, para garantizar que el material tenga una vida útil más prolongada.

El color en la hoja fue ocre café, se debe al contenido de lignina que contiene la materia prima (cáscaras de maracuyá) aunque en su proceso de transformación se trató de eliminar la mayoría de lignina de las cáscaras no se logró en su totalidad.

Del proceso de obtención de la hoja se obtuvo un material de textura gruesa y rígida. Este material debido a que contiene fragmentos grandes de materia prima, impide la impresión.

El análisis de costos y comparación de cuánto cuesta una producción de papel a partir de residuos (cáscara del maracuyá) hay una diferencia significativa nos arroja como resultado una inversión de **\$381,702.378** debido a que la materia prima principal se puede obtener con facilidad fibra/celulosa y no tiene ningún costo se obtiene con facilidad.

Las cáscaras del maracuyá es fibra vegetal donde se presenta polímeros como la celulosa, hemicelulosa y lignina, compuestos importantes en la obtención de papel en el análisis, este residuo es una estrategia viable de aprovechamiento para obtener fibra/celulosa, es una materia prima que se puede obtener con facilidad.

Es importante realizar investigaciones sobre aprovechamiento de este tipo de residuos, evaluando la viabilidad para elaborar papel o empaques u otro tipo de material como estrategias sostenibles.

RECOMENDACIONES

Es importante tener en cuenta que para que se facilite el proceso de transformación de las cáscaras del maracuyá se debe tener un tiempo máximo de una hora en su proceso cocción debido a que su fibra es muy dura.

Se recomienda que para obtener pulpa adecuada pase por un molino fino proceso de refinación para que su fibra se desintegre y quede más fina para la formación de la hoja y el material obtenido no quede con fragmentos grandes.

Se recomienda que el bastidor que se utilice para la formación de la hoja sus bases no sean gruesas, debido a que cuando la muestra está en el proceso de secado en el horno convectivo impide que el flujo de aire caliente llegue directamente a la superficie de la hoja y esto prolonga más el tiempo de secado.

Se observó que el peso de la concentración influye bastante debido que a mayor gramaje de concentración de pulpa, mayor es el tiempo de secado por eso es recomendable, tener en cuenta que a mayor temperatura que se aplique en el proceso más rápido será su obtención.

Si se requiere que la hoja obtenga un color claro o blanco característico se recomienda que sea sometida a etapa de blanqueo.

Para que la hoja quede un poco más fina se recomienda aplicar humectantes.

Se recomienda investigar otras materias primas (residuos) con altos contenidos de fibra celulósica que procedan de procesos agroindustriales.

BIBLIOGRAFIA

ACEVEDO BERGER, Vanesa y RAMIREZ DIAZ, Diana Marcela. Análisis técnico y económico de la pectina, a partir de la cáscara de la naranja (*citrus sinensis*). Cali, 2011, 77p. Trabajo de grado (Ingeniera Agroindustrial). Universidad de San Buenaventura Cali. Facultad de ingeniería.

ANDI, cámara de la industria de pulpa, papel y cartón. Sector papelerero en Colombia crece y se destaca con el desarrollo sostenible [sitio web]. Bogotá; [Consultado: 20 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/home/3294-sector-papelerero-en-colombia-crece-y-se-d#>

BELTRAN CRUZ, Richard Esteban y PIEDRA CASTAÑEDA, Johan Sebastián. Obtención de un colorante de maracuyá a partir de su corteza. Bogotá D.C, 2017, 33p. Trabajo de grado (Ingeniero químico). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería.

CABRERA, Laura. Descripción general del proceso de secado de fibra natural. Bogotá D.C, 2016, 18p. Trabajo de investigación (Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental). Corporación Universitaria Minuto de Dios. Facultad de educación.

CALLE ESTRADA, Nelfy; FERNANDEZ LIJERON, Ericka; GODOY TORRICO, Marina y PATIÑO MENDEZ, Karen Felicidad. Elaboración de papel a partir de fibras vegetales no maderables (pinzote de plátano). Santa Cruz, Bolivia, 2014, 24p. Trabajo de investigación (científica). Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno. Facultad de ciencias exactas y tecnología.

CANCHE ESCAMILLA, G; DE LOS SANTOS HERNANDEZ, J.M; ANDRADE CANTO, S y GOMEZ CRUZ, R. Obtención de celulosa a partir de los desechos agrícolas del banano. Información tecnológica. [Online]. 2005, vol.16, n.1 [citado 2020-04-22], p83-88. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000100012

CASTRO MARCELO, Juan Julio; PAREDES RODRIGUEZ, Cesar y MUÑOZ ALVA, Dacio. El cultivo del maracuyá *Passiflora edulis* form. Flavicarpa. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú. 2009, 30p.

CHILUIZA BENITEZ, Cristina Ivanob y HERNANDEZ LARA, Juan Patricio. Elaboración de papel artesanal de caña guadua (*Guadua angustifolia* K). Quito, Ecuador, 2009, 186p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional.

Facultad de ingeniería química y agroindustria.

CIFOR-INIA. Blanqueo de pastas celulósicas. Laboratorio de celulosa y papel. 2009. Disponible en: <http://wwwsp.inia.es/Investigacion/centros/CIFOR/unidadesx/celpap/Paginas/CelulosasPapel.aspx>

CRECENEGOCIOS. Análisis costo-beneficio, 2019. Disponible en: <https://www.crecenegocios.com/analisis-costo-beneficio/>

CRUZ ORJUELA, Angélica y PERDOMO ROSAS, Diana Patricia. Análisis de competitividad en el sector de la industria del papel, cartón y sus productos en Colombia. 2011. Recuperado de: <https://ciencia.lasalle.edu.co/economia/184/>

DEAQUIZ OYOLA, Yuli Alexandra y MORENO MEDINA, Brigitte Liliana. Producción y biosíntesis de fibras vegetales, una revisión. Conexión Agropecuaria Vol. 6, n.1, 2016, p29-42. Recuperado a partir de: <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/53>

DONOSO, Jairo. Biopolímeros, 2005. Disponible en: <http://facultatciencies.uib.cat/prof/josefa.donoso/campus/modulos/modulo6/modulo68.htm>

ERVASTI, Ilpo y VELASQUEZ MIRANDA, Rubén. Paper recycling framework, the “Wheel of Fiber.” 2016. Tomado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/Paper-recycling-framework-%2C-the-%22-Wheel-of-Fiber-%22-Ervasti-Miranda/d1cf2206b0724beae0d3138071677b31aad03814?p2df>

FUENTES MEDINA, Michel Enrique y LEON NIETO, Cindy Malena. Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno. Cartagena, 2012, 115p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena. Facultad de ingeniería.

GAONA MEDINA, Darwin Euclides. Estudio de factibilidad para la elaboración y comercialización de papel de fibra de banano. Guayaquil-Ecuador, 2015, 111p. Trabajo grado (Magíster en Gerencia y Mercadeo Agropecuario). Universidad de Guayaquil. Facultas de ciencias agrarias.

GÓMEZ DAZA, Juan Carlos y OCHOA MARTÍNEZ, Claudia. Secador asistido por bomba de calor y secador convectivo con recirculación total: alternativas para el secado de materiales agroalimentarios. Vitae, vol. 19, n.1, 2012, pS36-S38. Universidad de Antioquia. Tomado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914004.pdf>

GONZALEZ VELANDIA, Krystle Danitza; DAZA REY, Dayra; CABALLERO AMADO, Paola Andrea y CHADAE MARTINEZ, González. Evaluación de las propiedades

físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul* [online]. 2016, n.43 [cited 2020-05-23], p499-517. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742016000200021&script=sci_abstract&tlng=es

GRANDE TOVAR, Carlos David. Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales. Universidad de San Buenaventura Cali. 2016.

G.U.N.T Gerätebau GmbH, Hanskampring. CE 130 Secado por convección. Tomado de: https://gunt.de/images/datasheet/12/CE-130-Secado-por-conveccin-gunt-12-pdf_1_es-ES.pdf

HERNANDEZ, Alicia; GUILLON, María de la Paz y GARCIA, Liliana. La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad. Argentina, 2015, p 65-83. Trabajo de investigación (operativa). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca.

HERNANDEZ ORTEGA, Maricela. Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña *Ananas comosus* (L.) Merr. Chapingo-México, 2008, 104p. Trabajo de grado (Ingeniero Forestal). Universidad Autónoma de Chapingo. Facultad de ciencias forestales.

IZQUIERDO AGUAS, Lisbeth Janet y ZULDUA MARQUEZ, Víctor. Calculo y diseño de un secador convectivo experimental para el centro planta piloto pesquera de Taganga. Santa Marta, 2000, 101p. Trabajo de grado (Ingeniero Pesquero). Universidad del Magdalena. Facultad de Ingeniería.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Papel y cartón, muestreo para determinar la calidad, NTC 5342. Bogotá D.C. El Instituto. 2005. 33p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Criterios ambientales para pulpa, papel y cartón y productos derivados, NTC 6019. Bogotá D.C. El Instituto. 2013. 30p.

KHAN, ACADEMY. Descripción general de los carbohidratos y propiedades de monosacáridos, disacáridos y polisacáridos. 2014. Disponible en: <https://es.khanacademy.org/science/biology/macromolecules/carbohydrates-and-sugars/a/carbohydrates>

LUNA AGUILAR, Gustavo Santiago. Obtención de balanceado a partir de los desechos del maracuyá (*passiflora edulis variable flavicarpa*) para ganado vacuno. Quito, 2014, 114p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Central del Ecuador. Facultad de ingeniería química.

MARINAS, A y GONZALES-GARCIA, Ricardo. Calidad nutritiva de los pastos perinaicos. Cap 12, 18p. Madrid-España. 2008.

MASRI, Abeer; NADIRAH, Wan y JAWAID, Mohammad. Cell Wall Morphology, Chemical and Thermal Analysis of Cultivated Pineapple Leaf Fibres for Industrial Applications. Journal of Polymers & the Environment. Vol.; 20 (Junio. 2012), p404- 411. Tomado de: <https://doi.org/10.1007/s10924-011-0380-7>

MAZZEO MENESES, Miguel; LEÓN AGATÓN, Libardo; MEJÍA GUTIÉRREZ, Luis Fernando; GUERRERO MENDIETA, Luz Enith y BOTERO, Juan Diego. Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el Departamento de Caldas. Revista Educación en Ingeniería, Vol. 5, n.9, p 128-139, 2012.

MOLLER, Junger. Métodos para la determinación de fibra FOSS, 2014. Dedicated Analytical.

MONTOYA SUAREZ, Odila Isabela y QUMIS BAQUE, Mariuxi Elizabeth. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de papel a base del pinzote de banano en Guayaquil, guayas. Guayaquil, 2015, 165p. Trabajo de grado (Ingeniero Comercial). Universidad de Guayaquil. Facultad de ciencias administrativas.

PELLINI, Cenix. Historia del papel y su fabricación cronología de su evolución, 2009. Disponible en: https://historiaybiografias.com/el_papel/

PEÑARANDA GONZÁLEZ, Laura Victoria, MONTENEGRO GÓMEZ, Sandra Patricia y GIRALDO ABAD, Paula Andrea. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. Rev. Investigación Agraria Y Ambiental. 2017, Vol. 8, n.2, p141-50. Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2040>

PINTO GOMEZ, Lina Paola y SUAREZ CUCHIMAQUE, Maily Janeth. Propuesta para el manejo de residuos orgánicos producidos en la plaza de mercado de chíá (Cundinamarca). Bogotá D.C, 2016, 81p. Trabajo de grado (Tecnólogo en gestión ambiental y servicios públicos). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de medio ambiente y recursos naturales.

PRADO MARTINEZ, Maribel; ALZANDO HERNANDEZ, José; BECERRA AGUILAR, Bruno; PALACIOS SUAREZ, Hilda; VARGAS RADILLO, José y RENTERIA URQUIZA, Maite. Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera bosques* [online]. 2012, Vol.18, n.3

[citado 2020-03-24], p37-51. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712012000300004

PRELO. Tipos de papel grosores y gramajes, 2017. Disponible en:
<https://www.prelo.es/ampliar/202/Tipos-de-papel.html>

RAMIREZ, Marcela; PAÑUELA, Lina María y PEREZ, María. Los residuos orgánicos como alternativa para la alimentación en porcinos. Rev. Cienc Agr. 2017, Vol.34, n2, p107-124. Disponible en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v34n2/v34n2a09.pdf>

SALAMANCA, Sandra Lucia. Compostaje de residuos industriales en Colombia, Técnicaña ANDI. Rev. Cienc Agr. 2018.

SANCHEZ OSPINA, Diana Carolina. Caracterización de las pectinas extraídas de la cáscara del maracuyá (*Passiflora edulis*) y de la gulupa (*Passiflora pinnastistipula*) como agentes estabilizantes en néctares de frutas. Bogotá D.C, 2016, 94p. Trabajo de grado (Ingeniero de Alimentos). Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

SEGURA, Freimar; ECHEVERRY, Rosario; PATIÑO, Arley y AMANDA, Mejia. Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra, 2007.

SUESCA DIAZ, Adriana. Producción de enzimas celulolíticas a partir de cultivos de *trichoderma sp.* Con biomasa lignocelulósica. Bogotá D.C, 2012, 128p. Trabajo de grado (Magister en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.

TABORDA, Natalia. Fruto del Maracuyá. Seminario de Investigación, 2013.

TESCHKE, Kay y DERMES, Paul. Industria de papel y de la pasta del papel, 2001.

TORRES URIBE, Mauricio. Normalización del proceso de elaboración de papel artesanal a partir de tallos de maíz (*zea mayze*). Chía-Cundinamarca, 2000, 58p. Trabajo de grado (Ingeniero de Producción Agroindustrial). Universidad de la Sabana. Facultad de Ingeniería.

UAESP–Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en la ciudad de Bogotá D.C. 2011. Disponible en:
[//www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESIDENCIAL ES %2002-29-2012\(!\).pdf](http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESIDENCIAL_ES%2002-29-2012(!).pdf)

ZUGARRAMURDI, Aurora y PARIN, María. Clasificación de los costos de producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Ingeniería Económica. Universidad Nacional de la Plata. (Argentina), 1998.

ANEXOS

Anexo A. Diseño experimental arreglo ortogonal, aplicación de Taguchi por medio software Minitab. 15

Session

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

Resultados para: Hoja de trabajo 2

Diseño de Taguchi

Diseño Taguchi de arreglo ortogonal

L27(3**3)

Factores: 3

Corridas: 27

Columnas de L27(3**3) Arreglo

	C1	C2	C3	C4	C5
	A	B	C		
1	1	1	1		
2	1	1	1		
3	1	1	1		
4	1	2	2		
5	1	2	2		
6	1	2	2		
7	1	3	3		
8	1	3	3		
9	1	3	3		
10	2	1	2		
11	2	1	2		
12	2	1	2		
13	2	2	3		
14	2	2	3		
15	2	2	3		
16	2	3	1		
17	2	3	1		
18	2	3	1		
19	3	1	3		
20	3	1	3		
21	3	1	3		
22	3	2	1		
23	3	2	1		
24	3	2	1		
25	3	3	2		

Hoja de trabajo actual: Hoja de trabajo 2

Fuente: software Minitab. 15

Anexo B. Diseño experimental aplicación de Taguchi por medio software Minitab. 15

Minitab - Sin título - [Hoja de trabajo 1 ***]

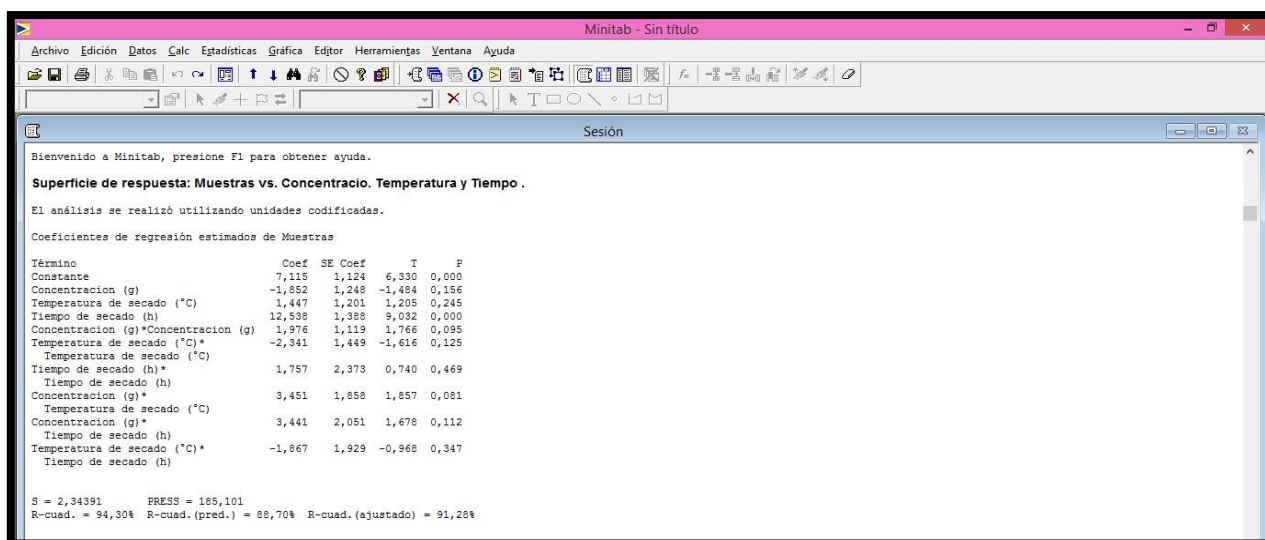
Archivo Edición Datos Calc Estadísticas Gráfica Editor Herramientas Ventana Ayuda

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C1
	Muestras	Concentracion (g)	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)	OrdenEst	OrdenCorrida	Bloques	PtType								
2	2	400	30	7	2	2	1	1								
3	3	400	35	7	3	3	1	1								
4	4	400	35	7	4	4	1	1								
5	5	500	35	8	5	5	1	1								
6	6	500	35	8	6	6	1	1								
7	7	600	35	8	7	7	1	1								
8	8	400	35	8	8	8	1	1								
9	9	600	40	8	9	9	1	1								
10	10	500	35	8	10	10	1	1								
11	11	600	40	8	11	11	1	1								
12	12	400	35	8	12	12	1	1								
13	13	400	35	8	13	13	1	1								
14	14	400	40	9	14	14	1	1								
15	15	500	40	9	15	15	1	1								
16	16	500	40	9	16	16	1	1								
17	17	400	40	9	17	17	1	1								
18	18	500	40	9	18	18	1	1								
19	19	600	30	9	19	19	1	1								
20	20	600	30	9	20	20	1	1								
21	21	500	35	9	21	21	1	1								
22	22	500	40	9	22	22	1	1								
23	23	500	40	9	23	23	1	1								
24	24	600	40	9	24	24	1	1								
25	25	600	40	9	25	25	1	1								
26	26	600	35	9	26	26	1	1								
27	27	600	40	9	27	27	1	1								

Hoja de trabajo actual: Hoja de trabajo 1

Fuente: software Minitab. 15

Anexo C. Superficie de respuesta muestras Vs concentracion, temperatura y tiempo Taguchi - software Minitab. 15



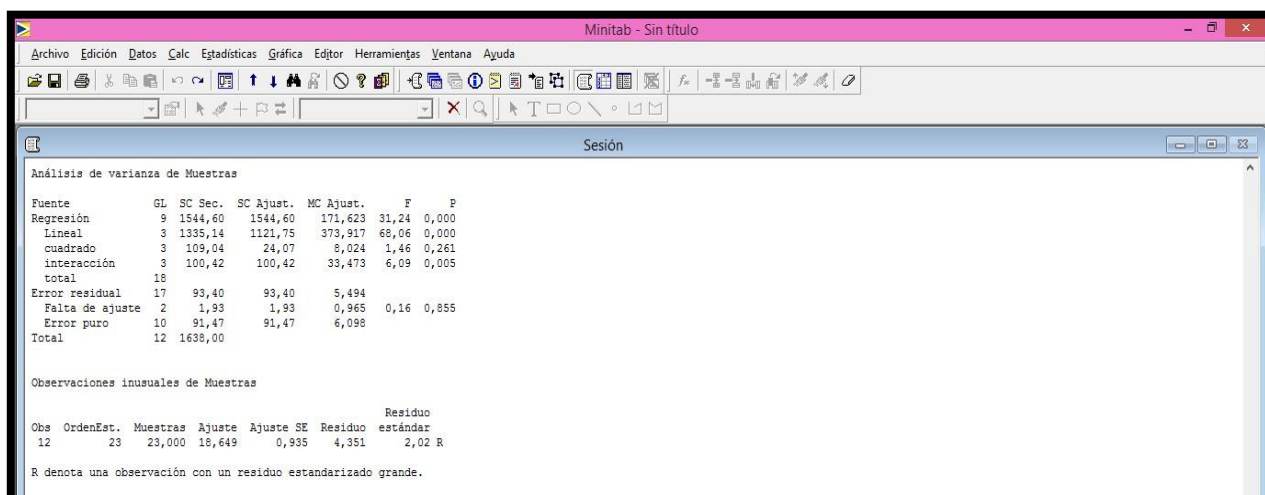
Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.
Superficie de respuesta: Muestras vs. Concentracio. Temperatura y Tiempo .
 El análisis se realizó utilizando unidades codificadas.
 Coeficientes de regresión estimados de Muestras

Término	Coef	SE Coef	T	P
Constante	7,115	1,124	6,330	0,000
Concentracion (g)	-1,852	1,248	-1,484	0,156
Temperatura de secado (°C)	1,447	1,201	1,205	0,245
Tiempo de secado (h)	12,538	1,388	9,032	0,000
Concentracion (g)*Concentracion (g)	1,976	1,119	1,766	0,095
Temperatura de secado (°C)*	-2,341	1,449	-1,616	0,125
Temperatura de secado (°C)				
Tiempo de secado (h)*	1,757	2,373	0,740	0,469
Tiempo de secado (h)				
Concentracion (g)*	3,451	1,858	1,857	0,081
Temperatura de secado (°C)				
Concentracion (g)*	3,441	2,051	1,678	0,112
Tiempo de secado (h)				
Temperatura de secado (°C)*	-1,867	1,929	-0,968	0,347
Tiempo de secado (h)				

S = 2,34391 PRESS = 185,101
 R-cuad. = 94,30% R-cuad. (pred.) = 88,70% R-cuad. (ajustado) = 91,28%

Fuente: software Minitab. 15

Anexo D. Análisis de varianza de muestras, Taguchi - software Minitab. 15



Análisis de varianza de Muestras

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	9	1544,60		1544,60	171,623	31,24	0,000
Lineal	3	1335,14		1121,75	373,917	68,06	0,000
cuadrado	3	109,04		24,07	8,024	1,46	0,261
interacción	3	100,42		100,42	33,473	6,09	0,005
total	18						
Error residual	17	93,40		93,40	5,494		
Falta de ajuste	2	1,93		1,93	0,965	0,16	0,855
Error puro	10	91,47		91,47	6,098		
Total	12	1638,00					

Observaciones inusuales de Muestras

Obs	OrdenEst.	Muestras	Ajuste	Ajuste SE	Residuo	Residuo estándar
12	23	23,000	18,649	0,935	4,351	2,02 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Fuente: software Minitab. 15

Anexo E. Resultado de laboratorio determinación de contenido de Lignina, celulosa y hemicelulosa en las cáscaras de maracuyá.

Resultados de la solicitud de análisis T2019-58

CIAT 50
1967-2017

Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: Universidad Nacional abierta y a distancia **Fecha de muestreo:** 2019-11-19 **Observaciones:** Martha Patricia Aparicio
marthapatriciaaparicio@yahoo.es 322 4765334. Cascara
de maracuyá para preparar.

Número serial: T2019-58 **Fecha recepción de muestras:** 2019-11-25 **Numero de muestras:** 1
Procedencia: Barrancabermeja **Entrega de resultados:** 2019-12-19 **Tipo de análisis:** Tejido
Santander **Vegetal**

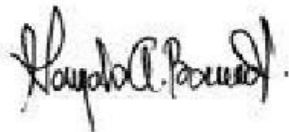
TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	Proteína (g/kg)	Humedad (g/kg)	MS (g/kg)	Cenizas (g/kg)	Ext.ET (g/kg)	FC (g/kg)	FAD (g/kg)	Lignina (g/kg)	FND (g/kg)	Celulosa (g/kg)	Hemicel. (g/kg)
1	Martha Aparicio 91096224809	46.3	151	849	86.0	67.5	289	287	126.6	352	224	114.4

Notas:

- Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
- El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
- Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
- LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:



Gonzalo Antonio Borrero Tamayo
Coordinador Técnico - Laboratorio de Servicios Analíticos
E-mail: g.a.borrero@oglar.org
Tel. (57-2) 445 0000 Ext. 3351

Determinación	Método
Proteína (g/kg)	Proteína (a partir de Nitrógeno total)
Humedad (g/kg)	Humedad -gravimetría
MS (g/kg)	Materia Seca -Gravimetría
Cenizas (g/kg)	Cenizas -gravimetría
Ext.ET (g/kg)	Extracción Etéreo (Grasas)
FC (g/kg)	Fibra Cruda - Soxhlet gravimetría
FAD (g/kg)	Fibra Ácida Detergente - Soxhlet Gravimetría
Lignina (g/kg)	Lignina - Método ácido detergente -Soxhlet Gravimetría
FND (g/kg)	Fibra Neutra detergente - Soxhlet Gravimetría
Celulosa (g/kg)	Celulosa (FAD-Lig)
Hemicel. (g/kg)	Hemicelulosa (DAD-FND)

FIN DEL INFORME

Laboratorio de servicios analíticos Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT © 2017. Todos los derechos reservados. Prohibida su modificación total o parcial
Tel. 445-01-00 Km. 17 recta Cali-Palmira

Fuente: Laboratorio CIAT.

